L'ONDE ÉLECTRIQUE

25e ANNÉE N° 224
NOVEMBRE 1945
PRIX : 45 FRANCS

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ETIENNE CHIRON, ÉDITEUR, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6e

LIRE DANS CE NUMERO

L'iconoscope analyseur d'image à électrons lents, par R. Barthélémy

Les tubes électroniques d'émission par M. Matricon, J. Chantereau, R. Montagne, A. Laurent.

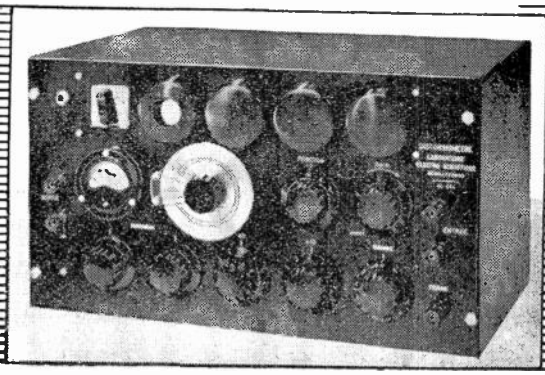
Les pionniers de la détection électromagnétique en Grande-Bretagne.

RT

TUBES POUR APPLICATIONS SPÉCIALES

Ondes courtes - Amplificateurs de lignes
Préamplis - Mesures - Télécommande

APPAREILS DE MESURES
DE HAUTE PRÉCISION



DISTORSIOMÈTRE

EXTRAIT DU CATALOGUE :
GÉNÉRATEURS — VOLTMÈTRE ÉLECTRONIQUE
PONT UNIVERSEL — MICROPHONE ÉTALON
DISTORSIOMÈTRE — SONOMÈTRE — AUDIOMÈTRE

LABORATOIRE ÉLECTRO-ACOUSTIQUE L.E.A
5, R CASIMIR PINEL
NEUILLY-S/SEINE
Tél: MAI 55-06,55-21

S. A. LA RADIOTECHNIQUE
Fournisseur des Administrations et des Services Publics
LABORATOIRES ET USINES :
5-7, RUE CARNOT — SURESNES

MICROVOLTMÈTRE
A LAMPES

50 MICROVOLTS
500 MILLIVOLTS

A.M.E
ATELIERS DE MONTAGES ELECTRIQUES

54 RUE DU THÉATRE PARIS XV°
SUF. 72-74

DARIO

TOUS LES TUBES DE RÉCEPTION

9, AVENUE MATIGNON, PARIS-8°

L'ISOSCOPE : ANALYSATEUR D'IMAGE A ÉLECTRONS LENTS (1)

PAR

R. BARTHELEMY

Ingénieur E. S. E.

SOMMAIRE

Dans cet article, l'auteur a mis principalement en évidence la modulation du faisceau cathodique, au voisinage de l'impact, par la charge photoélectrique, créée par la lumière projetée sur la mosaïque.

Il décrit d'abord le principe de l'analyseur en montrant la nécessité de l'emploi d'une mosaïque transparente, puis il introduit dans le faisceau de décharge des particules, une modulation haute-fréquence obtenue par battements.

On recueille ainsi dans le circuit accordé de sortie, un courant haute fréquence, modulé à 100 % par l'effet photoélectrique.

Préambule.

Depuis que Campbell Swinton, en 1911, a proposé le premier système d'analyseur électronique, la principale réalisation a été l'iconoscope de Zworykin. Sa naissance date d'une quinzaine d'années, mais il n'a acquis vraiment droit de cité qu'en 1935-1936, époque à laquelle l'analyse mécanique semble avoir atteint ses limites, avec l'aide ultime du multiplicateur d'électrons.

La position prépondérante acquise par l'iconoscope n'a pas cependant effacé ses défauts, dont l'origine réside dans l'émission secondaire de la couche photosensible. Il est même curieux, lorsqu'on cherche, à travers des difficultés que nous n'avons que partiellement surmontées, à établir une théorie de l'iconoscope, compte tenu de cette émission, de constater le peu de chances qu'avait cet appareil de donner un résultat satisfaisant. Nous aurons certainement l'occasion de revenir sur ce sujet ; mais pour l'instant nous rappelons seulement l'inconvénient des « taches » superposées à la modulation de télévision, et de la faible sensibilité obtenue : quelques centièmes de l'efficacité théorique d'un analyseur à intégration.

L'idée que les chercheurs ont poursuivie était de se débarrasser de l'émission secondaire, ou tout au moins à la rendre inférieure à l'unité. Le coefficient d'émission dépend de la nature de la cible et de la vitesse de l'impact. Dans le choix des matériaux, limité aux métaux ou aux alliages photosensibles, aucune solution n'est apparue. C'est dans la réduction de la vitesse des électrons que les laboratoires de la Radio-Corporation ont orienté leurs recherches qui ont abouti quelques mois avant la guerre, à un système auquel fut donné le nom d'orthiconoscope.

Le principe de ce nouveau tube analyseur ne diffère de l'iconoscope que par la réduction de la vitesse des électrons aux environs de l'impact, le faisceau aboutissant, comme dans l'iconoscope, à une mosaïque de cellules photosensibles ; mais cette seule différence provoque des modifications profondes dans la réalisation ; de nouvelles conceptions des dispositifs de concentration, des mosaïques, du balayage sont intervenues et c'est par elles que nous aborderons l'étude des analyseurs à électrons lents.

La concentration magnétique et ses conséquences.

Tous ceux qui se sont penchés sur le problème de la concentration du faisceau cathodique savent que l'emploi des tensions élevées d'accélération favorise la finesse du pinceau d'électrons. Or, dans le cas présent, il s'agit au contraire de concentrer dans une section qui est de l'ordre du centième de millimètre carré, un courant d'électrons atteignant un microampère, dont la vitesse tend vers zéro au voisinage de l'impact ; et cette expression : « tend vers zéro » conserve bien ici son sens mathématique ; même, à certains moments, cette vitesse pourra s'inverser.

Le maintien de la concentration dans un faisceau de vitesse quasi nulle n'a été pratiquement résolu que par l'emploi d'un puissant champ magnétique constant dans une large région de l'espace.

Nous n'avons pas l'intention, dans cet article, d'aborder le problème d'optique électronique que pose l'analyseur à électrons lents, notre but principal étant le calcul de potentiels de la mosaïque et de la modulation.

Nous devons, toutefois, indiquer les lignes principales du système.

Il comporte une cathode émettrice ponctuelle K, un cylindre de Wehnelt modulateur W, porté

(1) Conférence du 27 janvier 1945 de la Société des Radioélectriciens, à l'amphithéâtre de Physique, à la Sorbonne.

à un potentiel négatif, une anode A qui accélère les électrons jusqu'à 200-250 V.

Le faisceau F traverse ensuite le dispositif de déviation. Celui-ci est formé dans l'orthinoscope, par une paire de plaques P_1 et P_2 pour le mouvement rapide de lignes et une paire de bobines B_1 et B_2 qui créent la déviation d'image.

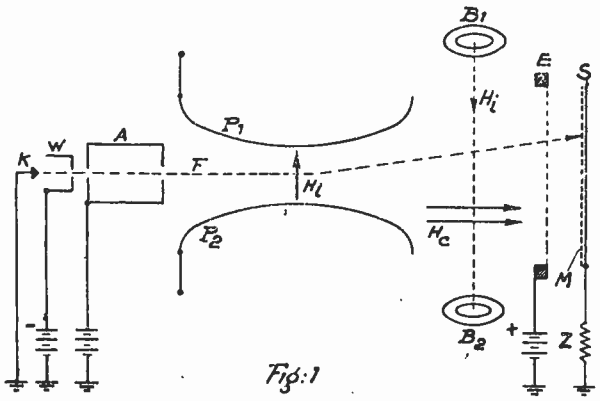


Fig: 1

Schéma de l'Orthicongscope

Puis, le faisceau traverse une électrode auxiliaire en forme de cadre E qui fixe le potentiel très légèrement positif, voire nul, au voisinage de la mosaïque M, et atteint enfin celle-ci si le potentiel des grains le permet. La plaque conductrice S, dite « plaque signal » est séparée de la mosaïque par une mince plaque de mica, et est mise au potentiel de la cathode K par l'intermédiaire de l'impédance d'utilisation Z.

L'ensemble du tube est plongé dans un puissant champ magnétique axial H_c, aussi uniforme que possible, et produit par une grosse bobine extérieure, coaxiale.

L'extraction des électrons et la formation d'un faisceau F fortement diaphragmé sont obtenues par les éléments A et W du canon.

Le champ magnétique H_c évite la dispersion des électrons relativement lents (250 V.) et en

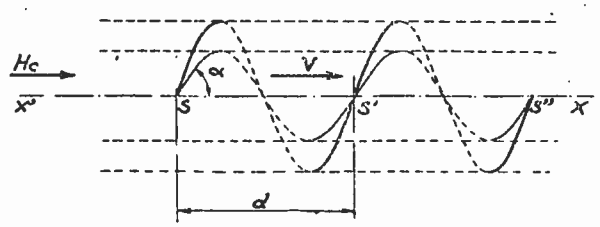


Fig: 2

Trajectoires dans le champ magnétique Hc

assure la concentration sur des surfaces très étroites, en des plans S, S', S''' (fig. 2) qui sont régulièrement espacées quand le champ H_c est uniforme ; on peut rapidement s'en rendre compte.

En sortant d'une cathode, ou mieux, d'un premier point de concentration S, les électrons partent dans une direction principale X X' avec une vitesse V. Si tous les électrons avaient des vitesses rigoureusement parallèles au champ H_c, celui-ci n'interviendrait pas, mais certaines divergences α, en général peu élevées, existent dans les directions des jets électroniques au point S ; les valeurs absolues des vitesses par contre, peuvent être considérées comme égales, à part les petits écarts provenant des vitesses initiales d'extraction de la cathode, faibles à côté de 250 V.

Ainsi apparaissent des composantes $V \sin \alpha$, normales au champ H_c , qui exercent alors une action sur les électrons, qui se traduit, comme on le sait, par une trajectoire hélicoïdale de rayon R définie par :

$$\frac{m V^2 \sin^2 \alpha}{R} = H_c \cdot e \cdot V \sin \alpha$$

(*e* et *m* étaient la charge et la masse de l'électron).

D'où :

$$R = \frac{m}{e} \cdot \frac{V \sin \alpha}{H}$$

Le temps d'une rotation complète d'un électron est :

$$\tau = \frac{2\pi R}{V \sin \alpha} = \frac{m}{e} \times \frac{2\pi}{H}$$

Ce temps est donc indépendant de V, de l'angle α et fonction du seul champ H_c.

Comme ces électrons progressent horizontalement avec des vitesses sensiblement égales à V (cos α étant très voisin de l'unité), on conçoit qu'après une période τ ils se retrouvent à un point S' distant de S de la quantité :

$$d = V \cdot \tau = \frac{2\pi V}{H} \cdot \frac{m}{e}$$

Il peut exister sur le trajet du faisceau un certain nombre de ces points de concentration successifs, d'autant plus rapprochés que la vitesse est faible et que le champ H est élevé.

Le passage du faisceau dans les champs de déviation donne lieu à des calculs plus complexes ; on démontre que la longueur des plateaux doit être un multiple entier de *d*, et leur profil, hyperbolique.

Evidemment, la mosaïque devra se trouver à l'un des points de concentration, et ceci, quel que soit l'emplacement du faisceau. C'est dire qu'après les déviations et le ralentissement des électrons, la mosaïque sera le plan, lieu des concentrations finales.

L'une des conditions de cette concentration uniforme est que la direction du faisceau au voisinage de la mosaïque soit orthogonale à ce plan. C'est peut-être là l'origine du nom orthiconoscope, qui surprend *a priori ;* mais là-dessus, nous attendons l'avis de notre éminent confrère et ami W. Zworykin.

Quoi qu'il en soit, cette nécessité détermine une disposition géométrique toute différente de celle de l'iconoscope.

En particulier, il ne semble plus possible d'utiliser un faisceau dont la direction générale initiale fait un angle de 36° avec l'axe optique, normal à la mosaïque. Dans l'analyseur à électrons lents, l'axe électronique doit se confondre avec l'axe optique et la seule solution pratique qui se présente est la réalisation d'une mosaïque transparente (fig. 3). Le faisceau F tombe sur la face mosaïque tournée vers l'intérieur du tube T ; l'armature isolante transparente supporte sur l'autre face la pellicule conductrice et transparente qui recueillera la modulation.

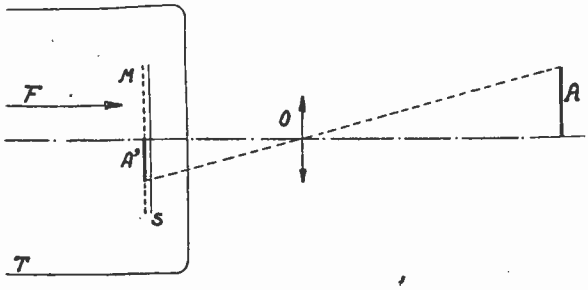


Fig. 3
Mosaïque transparente

Un objectif O projette l'image A' de l'objet A sur la face intérieure.

On voit que les problèmes de la construction et de traitements sont nouveaux. C'est à les résoudre que les laboratoires de la Télévision de la Compagnie des Compteurs ont consacré une partie de leurs efforts depuis quelques années.

La concentration magnétique entraîne d'autres complications : les déviations du faisceau deviennent très pénibles dans des champs axiaux dépassant 50 gauss. C'est la principale raison qui a déterminé les laboratoires américains à adopter la déviation électrostatique, pour la ligne, malgré les inconvénients d'encombrement, de construction, et de qualité dans l'analyse de la surface totale de la mosaïque. Nos laboratoires n'ont pas suivi la même voie, nous en donnerons plus loin les motifs et les résultats ; mais les avantages principaux de l'analyse par le faisceau lent restent les mêmes.

Avantages et inconvénients de l'analyse à électrons lents.

1° L'absence d'émission secondaire évite la création des signaux parasites de grande amplitude appelés « taches » qui existent dans l'iconoscope et dont l'annulation reste délicate, variable et imparfaite.

2° D'autre part, le potentiel des éléments photoélectriques est voisin de celui de la cathode ; les photoélectrons qui en sortent sont attirés vers l'anode du tube, c'est-à-dire soumis à une tension accélératrice supérieure à 200 V.

Le rendement d'une telle cellule est maximum, alors que dans l'iconoscope, le potentiel accélérateur est à peu près nul et ce sont les vitesses initiales des photoélectrons qui interviennent principalement. La photosensibilité, dans ces conditions, atteint à peine le cinquième de la valeur normale.

3° Bien entendu, par la disposition axiale de la mosaïque, il n'est plus besoin de la correction géométrique dite de « trapèze », nécessitée dans l'iconoscope par l'inclinaison du canon, ni même de la correction de proportionnalité.

4° L'optique, d'autre part, utilise, à égalité de profondeur de champ, des objectifs beaucoup plus ouverts, par suite de la diminution de la distance à la plaque mosaïque ; le foyer peut descendre aux valeurs ordinaires employées en photographie.

Cependant, il n'existe pas que des avantages ; il y a l'inconvénient de la perte de lumière par le défaut de transparence du support isolant et de la plaque signal ; n'oublions pas, en effet, que celle-ci doit présenter une faible résistance électrique pour la conservation des termes de fréquence élevée ; ce qui ne favorise pas les faibles épaisseurs de métal.

Il y a l'inconvénient de la grande bobine de concentration fournissant un champ uniforme important dans un volume de quelques décimètres cubes ; il y a aussi l'alimentation de cette bobine.

Il y a encore la grosse puissance à fournir aux dispositifs de déviation, dans des conditions particulièrement difficiles pour le balayage de ligne.

La balance reste cependant très favorable à l'analyseur à électrons lents, ce qui justifie l'étude qui va suivre.

L'isoscope.

Il nous a paru, après un certain nombre d'expériences avec la déviation électrostatique, qu'il était particulièrement délicat d'obtenir une concentration uniforme sur toute la surface de la mosaïque ; l'irrégularité étant beaucoup plus marquée dans le sens de la ligne que dans celui du balayage vertical, magnétique.

Il fut décidé qu'une étude de déviation magnétique, à la fréquence de ligne, serait amorcée, tant pour cette raison que pour la simplicité de construction du tube et la diminution de l'encombrement.

L'énergie nécessaire à la déviation d'un rayon cathodique guidé par un champ magnétique axial intense, implique un nombre d'ampères-tours, très important, et une longueur de bobine aussi élevée que possible, le déplacement final étant fonction du temps pendant lequel l'électron est soumis à l'action transversale.

Le courant en dent de scie qui parcourt les bobines de déviation arrive à une valeur finale I en 1/10.000° de seconde environ et l'énergie $1/2\ L\ I^2$ emmagasinée dans l'espace de déviation, doit être ensuite annulée en 1/100.000° de seconde, provoquant le retour de spot.

Une énorme surtension (quelques milliers de volts) apparaît alors aux bornes des bobines de déviation qui utilisent directement, pour une question de rendement, l'intensité qui sort des lampes. Sous ce choc à front raide, des oscillations naissent dans des fractions, même très faibles, des bobinages. Un rayonnement parasite que les blindages n'arrivent pas à supprimer, atteint la plaque signal, collecteur difficile à protéger, et perturbe les amplificateurs.

C'est le mérite de notre collaborateur, M. Paumier, d'avoir établi des circuits abaisseurs, à large bande et haut rendement, qui ont donné une solution à ce problème. Un nouveau tube a été alors construit par nos Ingénieurs physiciens, MM. Monnot et Bobenrieth, et une meilleure uniformité de la définition a été obtenue, d'où la dénomination « isoscope » qui caractérise cette qualité.

En dehors de la construction simplifiée de cet appareil, le gain d'encombrement est notable, 30 % environ, dû principalement à l'utilisation du même espace pour les deux déviations de ligne et d'image. De ce fait, la bobine de concentration est également plus réduite.

Caractéristiques de l'isoscope.

A l'inverse de ce qui existe dans l'iconoscope, la fraction du courant de faisceau de l'isoscope qui aboutit à la mosaïque est notablement influencée par le potentiel de celle-ci.

M. Strelkoff a pu tracer les courbes caractéristiques en projetant le faisceau F sur une cible M photosensible, mais conductrice et portée, par rapport à la cathode, à des potentiels connus grâce à une source auxiliaire U*m* (fig. 4).

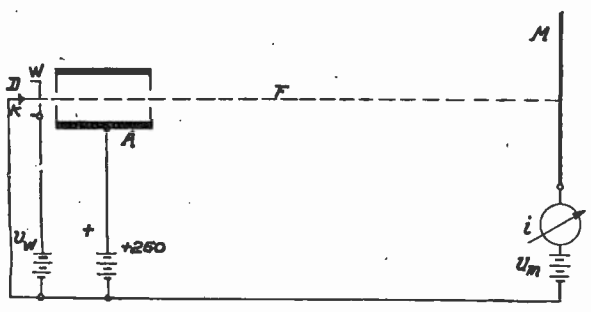


Fig. 4
Schéma des mesures.

Les conditions de ces mesures sont celles du fonctionnement normal de l'isoscope, la cible en question étant une partie conductrice voisine de la mosaïque d'un tube.

La tétrode particulière que constitue l'isoscope présente une caractéristique : courant *i* sur la cible M, en fonction de la tension de la cible U*m* représentée par la fig. 5, les tensions de Wehnelt U*w* et d'anode A étant constantes.

L'intensité n'est pas nulle pour le potentiel zéro par suite des vitesses initiales des électrons sortant de la cathode. Cette intensité croît avec la tension de cible jusqu'à un maximum de quelques microampères et décroît ensuite pour devenir négative. Cette allure anormale est due à l'émission secondaire qui est notable à partir d'une dizaine de volts. Sa valeur devient ensuite supérieure au faisceau incident, et l'on note alors une inversion dans le courant de sortie.

Ce n'est que la partie montante qui est utilisée

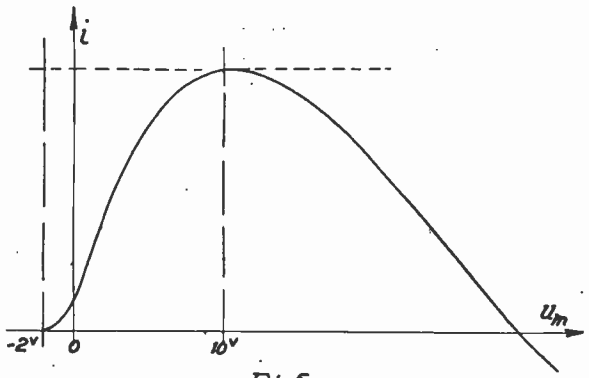


Fig. 5
Caractéristique de l'Isoscope

dans l'isoscope ; mais la connaissance de la courbe totale permet d'expliquer certains phénomènes qui apparaissent dans l'exploitation.

On peut constater que cette première partie correspond à peu près à la caractéristique d'une diode, dont la résistance intérieure ρ est très élevée.

En effet, cette résistance :

$$\rho = \frac{du}{di}$$

atteint, dans la partie rectiligne 3 à 5 mégohms et elle dépasse 40 Ω un peu avant l'annulation du courant.

Il est intéressant de tracer le réseau de courbes $i = f(u)$ pour différentes valeurs de la polarisation du Wehnelt (fig. 6).

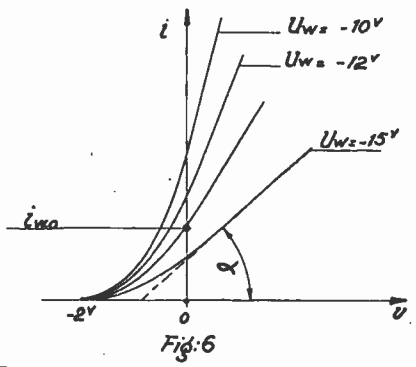


Fig. 6
Réseau de départ des caractéristiques

On remarque que ces courbes convergent sensiblement vers le même point d'annulation ; les pentes des parties droites sont à peu près proportionnelles aux potentiels du cylindre de modulation comptés autour d'une valeur moyenne $u_{(w.0)}$.

Comme la résistance du faisceau s'exprime par :

$$\rho = \frac{du}{di} = \text{ctg } \alpha$$

on peut admettre, si ρ_0 est la résistance correspondant à la polarisation U_{wo}, que la résistance ρ relative à un potentiel $U_w = U_{wo} + u$ du Whenelt, s'écrit :

$$\rho = \rho_0 \frac{U_{wo}}{U_{wo} + U}$$

relation dont nous aurons besoin ultérieurement.

Les électrons qui aboutissent à la mosaïque ne représentent qu'une fraction de l'intensité qui sort du canon, l'autre partie retourne vers l'anode, grâce au champ coaxial H_c.

La totalité des électrons est ainsi refoulée lorsque le potentiel des grains descend à — 2 volts. Certains projets prévoient l'utilisation des électrons en retour en les projetant dans un multiplicateur.

Constitution de la mosaïque transparente. Capacité d'un « point d'image ».

Cette partie essentielle de l'isoscope est formée par une plaque de mica soigneusement sélectionnée qui porte du côté extérieur sur lequel tombe la projection optique, un revêtement métallique extrêmement mince et transparent ; il est dénommé « plaque signal » et est relié à l'entrée des amplificateurs. L'autre face porte la plaque d'argent craquelé en particules de l'ordre du μ et même plus petites. On voit que, sous la surface d'impact du faisceau, qui mesure environ 1/10e de millimètre de diamètre, se trouve un grand nombre de globules d'argent. Ceux-ci ont été sensibilisés par les méthodes ordinaires de traitement des cellules au cœsium ; et forment, comme dans l'iconoscope, les points photosensibles, bien isolés les uns des autres. La surface utile de ces cellules représente environ 60 % de la surface totale de la mosaïque.

La transparence de cette dernière couche n'a pas la même importance que celle du mica et de la plaque signal, c'est elle, en effet qui utilise la lumière ; le flux lumineux qui en émerge est perdu.

Les constantes physiques qui doivent être retenues sont :

Le recouvrement photoélectrique.	60 %
La sensibilité photoélectrique.	10 à 15 micro-ampère par lumen.
La transparence (mica + couche signal).	50 %
La capacité unitaire : mosaïque-plaque signal. . . .	100 cm. soit 10^{-10} farad par cm²

ou 10^{-14} farad pour un « point-image » avec l'analyse à 450 lignes.

Emission photoélectrique — Potentiel des grains.

Il est assez difficile de mesurer directement la sensibilité de la mosaïque en μa/lumen. Des essais au balistique fixent aux environs de 3 à 5 μa/lumen pour une mosaïque transparente, l'émission globale.

En estimant comme ci-dessus la transparence à 50 %, et le recouvrement à 50 %, le chiffre indiqué correspond à une sensibilité de 10 à 12 μa/lumen pour une couche continue qui recevrait la lumière de face.

En première approximation, on peut admettre 12 μa/lumen.

Supposons un éclairement de 20 lux sur la face arrière, soit donc par cm² :

$$20.10^{-4} \text{ lumen}$$

Après passage à travers la plaque signal et le mica, il ne reste que :

$$0.5.20.10^{-4} \text{ lumen}$$

qui tombe sur la face photosensible. La moitié de cette lumière est perdue, passant entre les grains. Il subsiste en définitive :

$$0{,}25 \times 20.10^{-4} \text{ lumen utiles}$$

L'émission photoélectrique est alors de :

$$12.10^{-6} \times 0{,}25 \times 20.10^{-4} = 6.10^{-9} \text{ ampères}$$

La quantité d'électricité libérée entre deux analyses séparées par 1/25e de seconde est, par cm² de mosaïque :

$$Q = \frac{1}{25} 6.10^{-9} = 2{,}4 \cdot 10^{-10} \text{ coulomb}$$

La tension qui apparaît sur ce condensateur de 1 cm² est :

$$V = \frac{Q}{c} = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-10}}{10^{-10}} = 2{,}4 \text{ V}$$

Par point d'image de 450 lignes, on a sensiblement une charge :

$$q_0 = 2{,}4 \cdot 10^{-14} \text{ Cb}$$

Intensité du faisceau atteignant la mosaïque.

Pour équilibrer le départ des photoélectrons et ramener les particules au potentiel d'orgine, à chaque balayage, on envoie une quantité d'électricité par le faisceau équivalente à l'émission photoélectrique pendant le même temps, on a ainsi une idée du courant moyen. Il est intéressant d'analyser d'un peu plus près le fonctionnement.

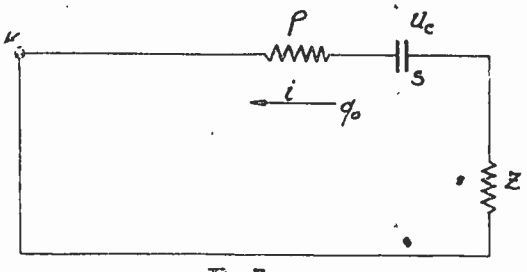


Fig. 7

Schéma équivalent de l'Isoscope

La cathode étant reliée à la plaque signal S par l'impédance Z, le schéma équivalent au circuit de décharge de la mosaïque est représenté fig. 7 : i est l'intensité du faisceau qui, à travers la résistance ρ décharge le condensateur C, formé par quelques particules de la mosaïque et la plaque conductrice.

Dans l'hypothèse de l'utilisation de la partie rectiligne de la caractéristique :

$$i = f(u)$$

on obtient de suite la solution de l'équation classique :

$$\frac{q}{c} + \rho i = 0$$

avec la condition initiale :

$$q = q_0 \text{ pour } t = o$$

on a ainsi, au temps t :

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{C\rho}}$$

C est la capacité du point image, couvert par le faisceau.

Si l'on veut tenir compte de la partie curviligne de la caractéristique partie, supposée parabolique de la forme :

$$i = A(u + u_0)^2$$

on obtient encore aisément une solution. Elle est d'une forme hyperbolique en fonction du temps :

La décharge est plus lente, ce qui est évident.

Lorsque le faisceau se déplace, sur une surface uniformément éclairée, on peut encore calculer l'intensité totale en additionnant tous les courants élémentaires qui sont fournis par les particules élémentaires, qui ne sont pas toutes atteintes en même temps.

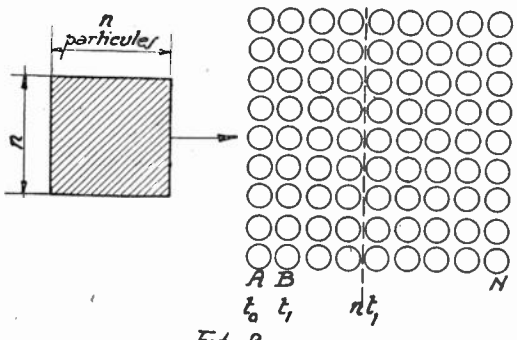


Fig. 8

Analyse par un spot carré

Pour simplifier le calcul, on suppose le spot d'analyse, carré, et les éléments photoélectriques de la mosaïque régulièrement disposés (fig. 8). Le spot peut couvrir n rangées horizontales et n rangées verticales.

Il met un temps t_1 à passer d'une rangée à l'autre et un temps $T = nt_1$ à parcourir sa propre superficie, qu'on appelle « point d'image ».

En 450 lignes T = 0,2.10 seconde.

Il est évident que les n particules placées dans une même rangée verticale sont atteintes simultanément et auront un régime de décharge analogue dans le temps. On assimilera donc une rangée verticale à une seule particule n fois plus grande et qui sera chargée avec une quantité d'électricité q_1 après 1/25e de seconde d'exposition à la lumière.

Au temps t les particules de la rangée A touchées au temps zéro, fournissent une intensité :

$$i = \frac{q_1}{C\rho} e^{-\frac{t}{C\rho}}$$

équation de la décharge du condensateur C dans la résistance ρ.

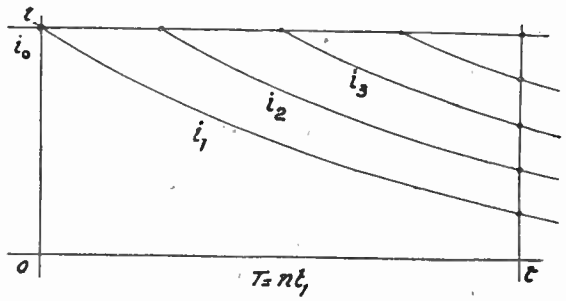


Fig. 9

Intensités dans les diverses rangées

Quand le spot arrive sur la dernière ligne N, la valeur i fournie par A est, à cet instant :

$$i_1 = \frac{q_1}{C\rho} e^{-\frac{nt_1}{C\rho}}$$

Le courant qui est donné, au même instant, par la rangée B est :

$$i_2 = \frac{q_1}{C\rho} e^{-\frac{(n-1)t_1}{C\rho}}$$

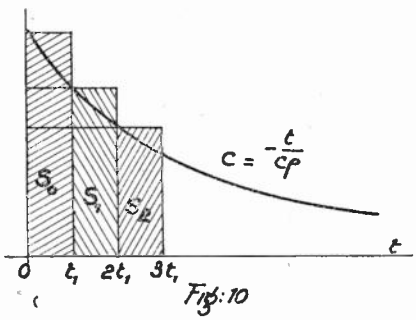


Fig. 10

Le courant total I fourni par toutes les particules sous impact est :

$$(1) \qquad I = \Sigma_0^N (i) = \frac{q_1}{C\rho}\left[e^{-\frac{nt_1}{C\rho}} + e^{-\frac{(n-1)t_1}{C\rho}} + \ldots + e^{-\frac{2t_1}{C\rho}} + e^{-\frac{t_1}{C\rho}} + e^0\right]$$

Ensuite, le spot continue à progresser ; il quitte la rangée A qui est sensiblement déchargée, mais il atteint la rangée $n+1$; le phénomène se reproduit identique et la discontinuité est inapparente si n est élevé (particules fines par rapport au spot).

L'expression (1) peut se calculer :

Les termes entre parenthèse $e^{-\frac{nt_1}{C\rho}}$, etc... sont les valeurs successives de la fonction $e^{-\frac{t}{C\rho}}$ pour les valeurs uniformément croissantes t_1, $2t_1$, etc.

Si l'on trace cette courbe et si n est assez grand (t_1 petit), on peut admettre que les surfaces successives (fig. 10) :

$$s_0 = t_1 e_0$$

$$s_1 = t_1 e^{-\frac{t_1}{C\rho}}$$

$$s_2 = t_1 e^{-\frac{2t_1}{C\rho}}$$

représentent approximativement l'aire de la courbe $e^{-\frac{t}{C\rho}}$ entre zéro et $e^{-\frac{nt}{C\rho}}$, ce que l'on peut écrire :

$$s_0 + s_1 + \ldots + s_n = t_1 \left(e + e^{-\frac{t_1}{C\rho}} \ldots + e^{-\frac{nt_1}{C\rho}}\right)$$

$$= \int_0^{nt_1} e^{-\frac{t}{C\rho}} dt = C\rho \left[e^0 - e^{-\frac{nt_1}{C\rho}}\right]$$

En reportant dans l'équation (1) on obtient :

$$I = \frac{q_1}{C\rho}\left[\frac{C\rho}{t_1}\left(1 - e^{-\frac{nt'}{C\rho}}\right)\right]$$

Soit, en se rappelant que $nt = T_1$ et que $q_1 = \frac{q_0}{n}$

$$I = \frac{q_0}{T}\left(1 - e^{-\frac{T}{C\rho}}\right)$$

q_0 est la charge d'un point d'image.

On aurait peut-être pu admettre une telle formule *a priori*, en partant de la notion du courant moyen, toutefois, sa démonstration n'est pas superflue en vue de l'application future du *faisceau modulé* en haute fréquence.

Si la période T est assez longue par rapport à $C\rho$, on a :

$$I = \frac{q_0}{T}$$

ce qui exprime l'intensité moyenne du faisceau lorsque la décharge des éléments photoélectriques est complète.

Application numérique : valeur de I.

On a vu que pour un éclairement uniforme de 20 lux, la charge par point d'image est de : $2{,}4.10^{-14}$ C*b*.

D'autre part, comme $C = 10^{-14}$ farad et pour la tension 2,4 V. atteinte, la résistance est de l'ordre de 5 Ω*g*.

Il s'ensuit que : $C\rho = 5.10^{-8}$

et :

$$\frac{T}{C\rho} = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-6}}{5{,}10^{-8}} = 4$$

donc :

$$I = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-14}}{0{,}2 \cdot 10^{-6}}(1 - e^{-4}) = 1{,}2 \cdot 18^{-7}$$

$$\times 0{,}68 = \underline{0{,}117}\ \mu a$$

La valeur réelle en service est un peu plus élevée du fait que le temps réel d'analyse n'est pas 1/25e de seconde, mais 10 % plus court, alors que le temps d'exposition est bien 1/25e de seconde. Le courant instantané ets donc plus grand puisqu'il doit décharger le même q_0 en un temps plus court.

Dans l'exemple choisi, l'expression $e^{-\frac{T}{C\rho}}$ est égale à 0,98, ce qui signifie qu'après le passage du faisceau, il reste 2 % de la charge photoélectrique sur la particule, ce qui passe en général inaperçu ; mais dans certains cas d'intensité trop faible de faisceau, de mica trop mince, et de déplacements rapides de l'objet télévisé, on constate une sorte de « souvenir » qui s'efface d'ailleurs très vite avec les analyses suivantes.

Formation de la modulation : tension de sortie.

Lorsque la surface est irrégulièrement éclairée, la formule précédente montre que l'intensité I du faisceau suit les variations d'éclairement avec une grande fidélité, tout au moins pour les détails qui ne sont pas inférieurs à la dimension du point d'image. Il est à retenir qu'à chaque instant, la valeur du faisceau est proportionnelle à la charge initiale q_0, c'est-à-dire à l'éclairement de chaque point ; les fluctuations du courant de décharge, qui sont celles du courant qui atteint la mosaïque, passant à travers l'impédance d'utilisation Z, fournissent la tension d'entrée de l'amplificateur.

Nous n'avons pas fait intervenir Z dans le calcul précédent car sa valeur est très petite vis-à-vis de la résistance ρ. En effet, pour l'analyse à 450 lignes, Z ne dépasse pas 2.000 ohms pour les fréquences les plus élevées.

Ces chiffres montrent qu'avec l'éclaircissement modeste de 20 lux sur la mosaïque, les impulsions de tension *les plus brèves*, appliquées à la grille de la première lampe amplificatrice dépassant 300 microvolts.

A l'inverse de ce que l'on observe dans l'iconoscope, le flux d'électrons qui atteint la mosaïque est modulé pratiquement à 100 % par la lumière qui est tombée sur le même point d'impact en 1/25e de seconde. Cette conclusion est fort importante, comme on le verra par la suite.

La modulation reste proportionnelle à l'éclairement dans de larges limites alors que la sensibilité dans l'iconoscope décroît très vite au-dessus d'une certaine valeur.

On ne peut toutefois projeter une lumière trop intense sans modifier le réglage du faisceau. Celui-ci présente une forte réserve d'électrons puisqu'on utilise un impact de 0,1 à 0,2 micro-ampère et que l'anode laisse passer jusqu'à un micro-ampère. Mais si la valeur moyenne est insuffisante, le potentiel des parties très éclairées monte et peut dépasser le seuil où l'émission secondaire devient supérieure à l'impact primaire.

L'équilibre est alors rompu brusquement ; et, tant par la lumière que l'arrivée de nouveaux électrons primaires, le potentiel monte jusqu'à rejoindre celui de l'anode, provoquant une énorme tâche blanche sur l'image.

C'est le deuxième état stable d'une mosaïque isolée, et l'on retrouve ici l'iconoscope. Le premier état est défini par un coefficient d'émission secondaire de la cible plus petit que l'unité et le potentiel de la cible est celui de la cathode, tandis que dans le deuxième, la cible se règle sur le potentiel le plus élevé, celui de l'anode finale.

Introduction d'une porteuse haute fréquence.

Le problème de la modulation d'une onde porteuse de fréquence élevée par un effet photoélectrique, a été posé depuis les premières expériences de télévision, mais il n'avait pu jusqu'ici recevoir que des solutions indirectes nécessitant l'emploi d'un amplificateur préalable apériodique.

L'analyseur le plus répandu actuellement, l'iconoscope, utilisant un faisceau cathodique très délié et accéléré par une tension dépassant 1.000 V. ne se prête pas à une action directe de l'effet photoélectrique qui ne produit, malgré l'intégration, que des différences de potentiel sur la mosaïque, de l'ordre du volt qui ne peuvent donc agir sur le faisceau. On est amené à amplifier considérablement en partant de niveau très bas, les faibles courants photoélectriques dont le spectre des fréquences s'étale de 25 périodes à plusieurs millions, avant de pouvoir moduler l'onde porteuse qu'on enverra par la suite sur les câbles de distribution.

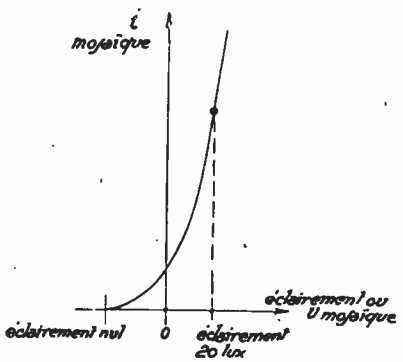


Fig. 11

Courant de faisceau, fonction de l'éclairement

Il en va tout autrement avec les tubes analyseurs à électrons lents. Le courant du faisceau aboutit partiellement à la mosaïque, en fonction du potentiel photoélectrique existant sur les grains (fig. 11).

Il y a donc, d'après la courbe ci-contre, une modulation totale du faisceau *incident* par la lumière distribuée sur la mosaïque.

Si cette intensité est découpée à fréquence élevée, la décharge des petits éléments capacitifs de la mosaïque ne s'effectuera que pendant les époques où le faisceau aura une certaine valeur.

Cette décharge qui était exponentielle, sera donc hachée à la fréquence porteuse introduite dans le faisceau et *l'intensité* dans le circuit de sortie aura l'allure de la fig. 12, avec la condition que l'intégrale $\int_0 i\,dt$ soit égale à celle de l'exponentielle (conservation de la charge q).

On voit donc, a priori, que les amplitudes maxima instantanées seront sensiblement doubles de celles observées en continu.

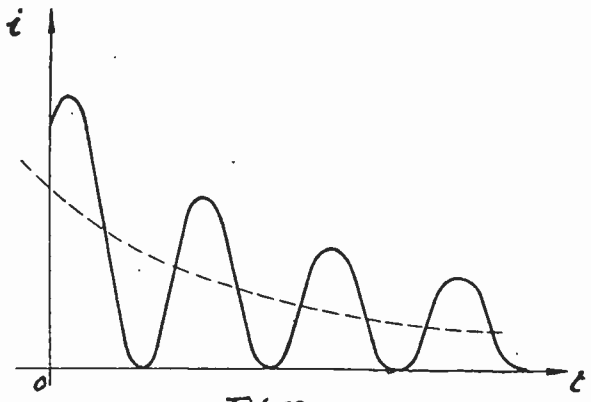


Fig. 12

Décharge avec faisceau modulé H^te F^q

Ce que l'expérience vérifie.

Le courant qui sort de la plaque signal S attaque le circuit accordé Z qui présente la bande passante convenable (fig. 13).

Nous supposons d'abord le faisceau immobile sur une particule isolée qu'il déborde largement, mais au lieu de présenter une valeur fixe dans le temps, son intensité est modulée à 100 %, par le cylindre de Wehnelt, à une pulsation convenable.

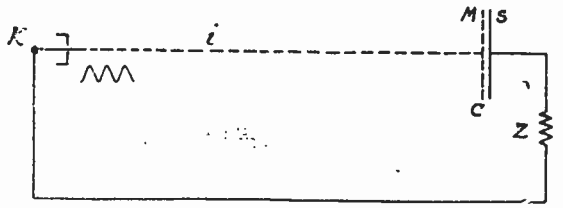


Fig. 13

Schéma électrique de la décharge avec faisceau modulé

Nous avons vu précédemment, dans l'étude des caractéristiques, que la résistance dynamique était fonction d'une tension auxiliaire u ajoutée à la polarisation normale u_{wo} du Wehnelt, fonction définie par :

$$\rho = \frac{\rho_0}{u_{wo} + u}\, u_{wo}$$

Si la *f. e. m.* insérée dans le Wehnelt est :

$$u = u_{wo} \sin(\omega t + \varphi)$$

La résistance s'écrit :

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \sin(\omega t + \varphi)}$$

Elle devient infinie à chaque alternance, c'est-à-dire que le faisceau est annulé à ces instants.

L'équation différentielle qui régit la décharge est :

$$\frac{q}{C} + \rho i = \frac{q}{C} + \frac{\rho_0}{1 + \sin(\omega t + \varphi)} \cdot \frac{dq}{dt} = 0$$

L'intégration est possible et donne :

$$q = A\, e^{-\frac{\omega t - \cos(\omega t + \varphi)}{C\rho\omega}}$$

avec la condition : $q = q_1$ pour $t = o$.

On en déduit la valeur de A ; et les expressions de la charge q et du courant $\frac{dq}{dt}$ sont les suivantes :

$$q = q_1 e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}} \cdot e^{-\frac{t}{C\rho} + \frac{\cos(\omega t + \varphi}{\omega C\rho)}}$$

et :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{q_1}{C\rho}[1 + \sin(t + \varphi)] \cdot e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\varphi}} \cdot e^{-\frac{t}{C\rho}} \cdot e^{\frac{\cos(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}}$$

ce qui peut être représenté par la figure 12.

Si l'on passe à l'examen de la décharge avec le faisceau en mouvement on peut suivre la même méthode que celle employée en courant continu.

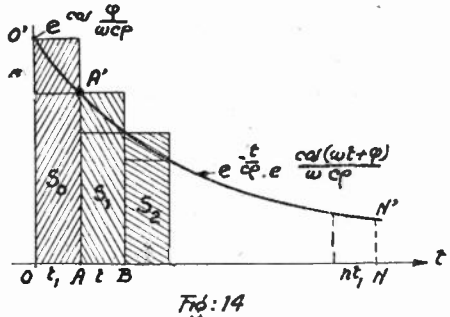


Fig. 14

Le faisceau atteignant successivement les n particules provoque des décharges élémentaires $i, i_2, .. i_n$ qui s'ajoutent et forment le courant modulé qui sort de la plaque signal, au temps $n\, t_1 = T$

$$I = i, + i_2 + ... + i_n$$

t_1 étant le temps de passage d'une particule à l'autre (particules distribuées selon l'hypothèse précédemment faite).

Au temps t où le faisceau atteint la n° particule, on a :

$$i_n = \frac{q_1}{C\rho}[1 + \sin(\omega t + \varphi)]\, e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}} e^{0}\, e^{\frac{\cos(0 + \varphi)}{\omega C\rho}}$$

$$i_{n-1} = \frac{q_1}{C\rho}[1 + \sin(\omega t + \varphi)]\, e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}} e^{-\frac{t_1}{C\rho}} e^{\frac{\cos(\omega t_1 + \varphi)}{\omega C\rho}}$$

. . . . . .

$$i_1 = \frac{q_1}{C\rho}[1 + \sin(\omega t + \varphi)]\, e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}} e^{-\frac{n t_1}{C\rho}} e^{\frac{\cos(n\omega t_1 + \varphi)}{\omega C\rho}}$$

D'où :

après addition et transformation :

$$I = \frac{q_1}{C\rho}(1 + \sin\omega t + \varphi)\left[e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}} \Sigma_0^{n t_1} e^{-\frac{t}{C\rho}} \cdot e^{\frac{\cos(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}}\right]$$

Les valeurs des termes sous le signe Σ peuvent être représentées par les ordonnées (fig. 14). AA', BB', etc.

Les points o', A', B' se trouvent sur la courbe :

$$y = e^{-\frac{t}{C\rho}} e^{\frac{\cos(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}}$$

Les aires s_0, s_1, s_2, etc., peuvent être considérées, si t_1 est petit (n grand), comme formant l'intégrale $\int y\, d\, t$.

D'où l'égalité :

$$e^{-\frac{t_1}{C\rho}\cos\frac{(\omega t_1 + \varphi)}{\omega C\rho}} + e^{-\frac{2t_1}{C\rho}\cos...} + ... + e^{-\frac{n t_1}{C\rho}} e^{\cos\frac{(n\omega t_1 + \varphi)}{\omega C\rho}} = \frac{1}{t_1}\int_0^{n t_1} y\, dt$$

et la relation :

$$I = \frac{q_1}{C\rho}[1 + \sin(\omega t + \varphi)]\left[\frac{e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}}}{t_1}\int_0^{n t_1} e^{-\frac{t}{C\rho}} e^{\cos\frac{(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}}\, dt\right]$$

Devant la difficulté d'intégration de $e^{\cos\frac{(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}}$, et comme il ne s'agit que d'un terme correctif, petit à côté de 1, on admettra le développement en série, limité aux deux premiers termes de l'expression :

$$e^{\cos\frac{(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}} = 1 + \frac{\cos(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho} + \frac{\cos^2(\omega t + \varphi)}{2!\,(\omega C\rho)^2} + ...$$

En effet, $\omega C\rho$ étant de l'ordre de 3 à 6, le terme en $\cos^2$ est au plus de l'ordre du 1/50e de l'unité.

L'expression sous le signe $\int$ se ramène donc à :

$$e^{-\frac{t}{C\rho}}\left(1 + \frac{\cos(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho}\right) = e^{-\frac{t}{C\rho}} + \frac{e^{-\frac{t}{C\rho}}\cos(\omega t + \varphi)}{\omega C\rho} \qquad (2)$$

L'intégrale du premier terme est $-C\rho e^{-\frac{t}{C\rho}}$ quant à celle du 2e, on peut la résoudre en écrivant, en notation imaginaire :

$$e^{-\frac{t}{C\rho}}\cos(\omega t + \varphi) = \frac{e^{-t\left(\frac{1}{C\rho} - i\omega\right) + i\varphi} + e^{-t\left(\frac{1}{C\rho} + i\omega\right) - i\varphi}}{2}$$

En intégrant et en mettant $e^{-\frac{t}{C\rho}}$ en facteur, l'expression se transforme en :

$$\frac{-e^{-\frac{t}{C\rho}}\left[\frac{1}{C\rho}\cos(\omega t+\varphi)+\omega\sin(\omega t+\varphi)\right]}{\frac{1}{C^2\rho^2}+\omega^2}$$

Posons :

$$\operatorname{tg}\psi=\frac{1}{C\rho\omega}=\frac{\sin\psi}{\cos\psi}$$

On a l'expression plus simple, après calculs,

$$\left(-e^{-\frac{t}{C\rho}}\right)\frac{\cos\psi}{\omega}\sin(\omega t+\varphi+\psi)$$

L'intégrale définie, de l'expression (2), s'écrit alors :

$$\int_0^T e^{-\frac{t}{C\rho}}+\int_0^T\frac{e^{-\frac{t}{C\rho}}}{C\rho\omega}\cos(\omega t+\varphi)\,dt$$

$$=\left[-C\rho e^{-\frac{t}{C\rho}}\right]_0^T-\left[\frac{e^{-\frac{t}{C\rho}}}{C\rho\omega^2}\cos\psi\sin(\omega t+\varphi+\psi)\right]_0^T$$

$$=C\rho\left[1-e^{-\frac{T}{C\rho}}+\frac{\cos\psi}{\operatorname{ctg}^2\psi}\sin(\varphi+\psi)\right.$$

$$\left.-e^{-\frac{T}{C\rho}}\frac{\cos\psi}{\operatorname{ctg}^2\psi}\sin(\omega T+\varphi+\psi)\right]$$

L'angle ψ étant petit, on peut se permettre certaines simplifications et écrire, en définitive, en rappelant que q_0, charge d'un point d'image, est égal à $n\,q_1$.

$$I=\frac{T}{q_0}\left[1+\sin(\omega t+\varphi)\cdot e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}}\left(1-e^{-\frac{T}{C\rho}}\right)\right]\quad(3)$$

L'angle φ a été défini par rapport à l'époque t_0 où le faisceau attaque la première rangée de particules.

φ n'est en général, pas le même pour les points d'images successifs. Une discussion qui nous mènerait trop loin, montre, sauf dans des cas fort rares, l'influence de cos φ se traduit par un terme harmonique 2 de faible amplitude, et qui est donc éliminé par le circuit accordé de sortie.

Dans des conditions fort improbables, on arriverait à produire une sorte de léger striage dans l'image d'une surface uniformément éclairée. S'il n'y a pas de relation rigide entre la fréquence de répétition d'image et la fréquence porteuse, le terme cos φ, pour un même point d'image, passe par une série de valeurs diverses dans la suite des balayages ; l'intensité I correspondant à l'éclairement de ce point est donc légèrement modulée par le coefficient $e^{-\frac{\cos\varphi}{\omega C\rho}}$ Mais, outre que ce coefficient varie peu autour de 1 (0,85 à 1,15), sa valeur moyenne est fixée sensiblement par celle de cos φ, laquelle est nulle ; or, grâce à l'inertie de l'œil, on ne perçoit que la valeur moyenne.

Le résultat essentiel est donc indiqué par la relation simple qu'on aurait pu, aussi, écrire a priori :

$$I=\frac{q_0}{T}(1+\sin\omega t)\left(1-e^{-\frac{T}{C\rho}}\right)$$

Nous n'avons cherché, par ces calculs approximatifs, qu'à nous rendre compte de l'allure de la décharge, mais il était utile d'apprécier les termes négligés.

Bien entendu, cette formule représente le courant de la décharge d'un point d'image, considéré isolément ; il ne faut pas conclure qu'il existe, dans le circuit de sortie, un terme continu *moyen* $\frac{q_0}{T}$ comme on pourrait le supposer à l'examen de cette seule formule. Le courant moyen ne peut, en effet, qu'être nul puisqu'il s'agit d'une liaison par condensateur ; mais il faut le considérer pendant une période complète d'analyse, soit 1/25e de seconde. Durant cet intervalle, l'émission photoélectrique du point considéré, détermine une intensité *inverse* de celle du courant rapide de décharge. C'est le courant de charge. Au total, la quantité d'électricité étant annulée chaque 1/25e de seconde, le courant moyen est également nul.

On peut encore remarquer que le terme

$$1-e^{-\frac{T}{C\rho}}$$

est identique pour tous les points d'image, on peut donc le remplacer par un coefficient α inférieur à l'unité. La formule de l'intensité utile qui traverse le transformateur de sortie peut s'exprimer, pour un éclairement uniforme, par :

$$i=\frac{q_0}{T}\alpha\sin\omega t$$

Or, la charge photoélectrique q en chaque point d'une mosaïque sur laquelle on projette une image est fonction des coordonnées x et y du point d'analyse. La loi de cette analyse en fonction du temps, permet d'exprimer x et y à l'aide de la variable unique t, de sorte qu'en définitive on a :

$$i=\alpha f(t)\sin\omega t$$

qui représente la modulation de la porteuse de pulsation ω par le modulateur $f(t)$.

En résumé, on constate que la porteuse est modulée totalement par l'éclairement (q_0) de point et que les amplitudes crête à crête de la H. F. sont sensiblement doubles des impulsions maxima obtenues par l'analyse continue, à la sortie de l'isoscope.

On obtient donc une onde haute fréquence modulée directement par la lumière ; les avantages qu'on en tire sont évidents en ce qui concerne les facilités d'amplification, le volume, le prix des appareillages, la protection contre certains parasites, et la transmission de la lumière moyenne.

Introduction de la haute fréquence par la méthode des battements.

La grande difficulté d'appliquer une oscillation haute fréquence au Wehnelt, sans induire une tension notable dans le circuit de sortie de l'isoscope, conduit à imaginer une autre méthode pour moduler le faisceau cathodique.

En effet, il est nécessaire d'utiliser une tension de quelques volts à une fréquence de l'ordre de 10 mégacycles ($\lambda = 30$ m.) pour constituer la porteuse de la modulation d'image dont la bande de fréquence atteint 3 Ω_{cy}, pour l'analyse à 450

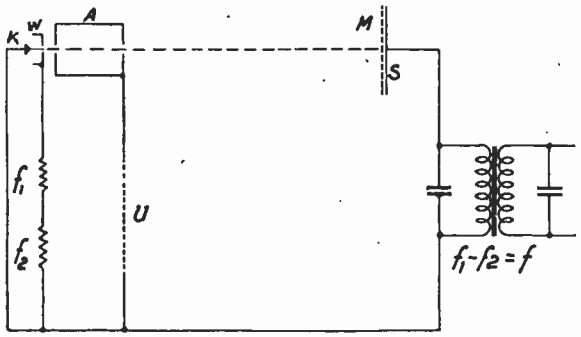


Fig. 15

Isoscope avec porteuse HF

lignes. Il serait difficile, sinon impossible, d'empêcher le rayonnement direct de la source haute fréquence d'atteindre, par le collecteur d'onde qu'est la « plaque signal », le circuit accordé de sortie et de créer dans l'amplificateur qui suit, un courant constant non modulé, susceptible de masquer la partie modulée issue de la mosaïque, et de saturer les amplificateurs.

Il ne peut être question d'écran entre ces organes (Wehnelt et mosaïque) ; la solution de ce pro-

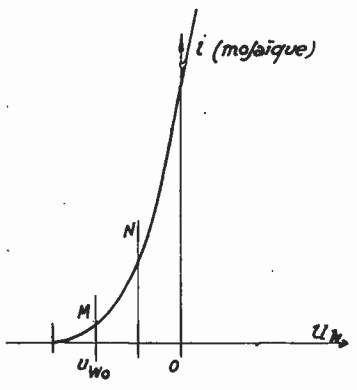


Fig. 16

Caractéristique de l'intensité en fonction de Wehnelt

blème a été obtenue par la création d'une onde de battement dans le faisceau même sans qu'aucune source, ni tension de même fréquence, intervienne sur les électrodes de commande (fig. 15 et 16).

Dans cette méthode, deux oscillateurs de fréquence élevée, f_1 et f_2, donnent des tensions de quelques volts (3 à 5) dans le circuit Wehnelt cathode.

La polarisation continue du Wehnelt est telle que chacune des tensions peut, au moment de son maximum négatif, annuler le courant de faisceau.

Il y a donc détection et un courant de fréquence : $f = f_1 - f_2$ apparaît dans le faisceau. Il est transmis à la plaque signal S en fonction du potentiel des grains de la mosaïque M, et le circuit accordé, placé sur la connexion de la plaque S, reçoit la haute fréquence f modulée par les potentiels créés par l'image optique, à l'exclusion des ondes auxiliaires, f_1 et f_2, éliminées par la sélectivité du circuit.

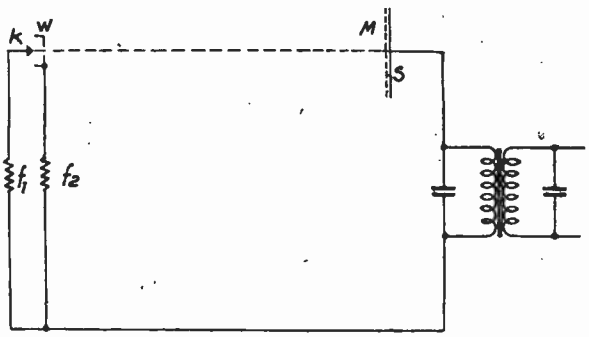


Fig. 17

Il est inutile de refaire le calcul de la formation du courant de fréquence f. C'est celui déjà connu dans la théorie des changeurs de fréquence à lampes. (Voir par exemple RGE n° 17 du 24 avril 1926 du même auteur).

L'expérience montre que la modulation obtenue à la fréquence f est bien sinussoïdale et facilement réglage à 100 %.

On ne constate aucune tension résiduelle dans le circuit de sortie en l'absence de courant de faisceau, et on ne constate pas non plus de tension résiduelle avec un courant de faisceau normal, (au voisinage du Wehnelt) quand la mosaïque n'est pas éclairée.

On réunit donc ainsi les deux conditions nécessaires pour l'obtention d'une porteuse haute fréquence pouvant être modulée à 100 %, par l'effet photoélectrique.

Un montage particulièrement stable consiste à placer l'une des tensions f_1 dans le circuit de cathode et l'autre f_2 dans le circuit Wehnelt (fig. 17).

Concentration. — On aurait pu craindre un élargissement du spot gênant sous l'effet de la modulation du faisceau. L'expérience montre qu'en réglant le diamètre pour l'intensité maxima, correspondant à deux fois l'intensité moyenne, on n'observe pas de diminution de la définition sur l'analyse 450 lignes, le diamètre du spot diminuant toujours avec l'intensité.

Variante. Application de l'oscillation de fréquence f_1 sur « la plaque signal ».

Ainsi qu'il a été prévu dans le brevet initial, on peut introduire la composante f_1 sur une autre électrode de l'isoscope.

Le cas particulier de la plaque signal doit cependant être examiné de plus près, car cette plaque ne constitue qu'une armature de condensateur, la véritable électrode étant la mosaïque, à laquelle elle est couplée.

La tension haute fréquence (f_1) débite sur deux condensateurs en série, dont l'un formé par le mica, est très grand vis-à-vis de l'autre, qui est la capacité des grains de la mosaïque par rapport à l'anode et à la métallisation du tube (fi. 18).

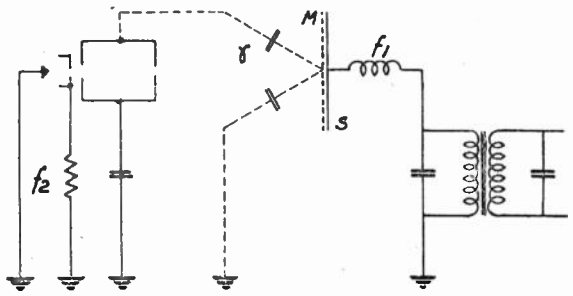


Fig. 18
Oscillateur sur la plaque signal

En l'absence de lumière, les grains, qui sont isolés, verront leur potentiel baisser à chaque impact d'un faisceau cathodique continu, tant qu'il y aura une alternance qui rendra positifs par rapport à la cathode. Le régime s'établira autour d'un potentiel négatif moyen légal, sensi-

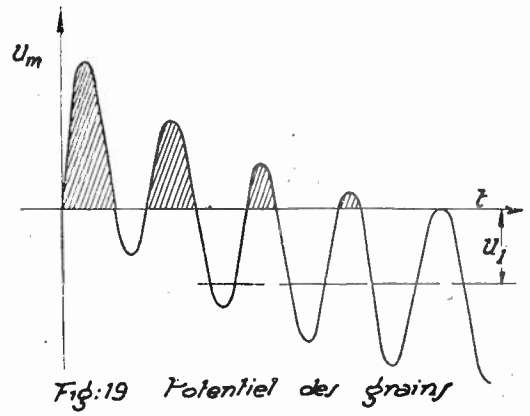


Fig. 19 *Potentiel des grains*

blement, à l'amplitude u_1 de l'oscillation, car la tension :

$u = \dfrac{C}{\gamma + C} u_1 \sin \omega t$ est pratiquement égale $u_1 \sin \omega t$

s'il n'y a pas de fuites. (Tout se passe comme dans une lampe ; une grille isolée, soumise à une tension alternative, par un condensateur, sans résistance de fuite, devient négative).

Dans le cas d'un éclairement, et entre deux impacts de faisceau, le potentiel moyen remonte $u_0 = \dfrac{q_0}{C}$ (q_0 charge photoélectrique en 1/25e de seconde et C capacité d'un point).

Il existe donc, à des intervalles $\dfrac{1}{f_1}$ des surfaces *positives* sur lesquelles peut tomber le faisceau interrompu lui-même à des intervalles $\dfrac{1}{f_2}$ (fig. 20).

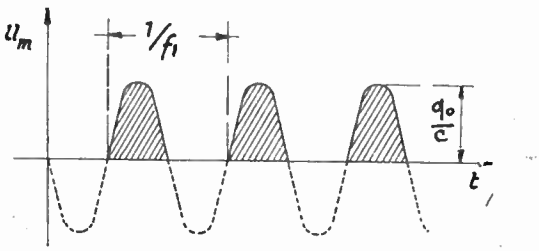


Fig. 20
Potentiel avec éclairement

Il en résulte un phénomène de stroboscopie avec apparition dans le circuit de sortie, de quantités d'électricité fractionnées à la fréquence $f = f_1 - f_2$.

L'équation de la décharge d'"une particule (fig. 21)est plus compliquée que dans le cas où une tension alternative supplémentaire n'est pas appliquée.

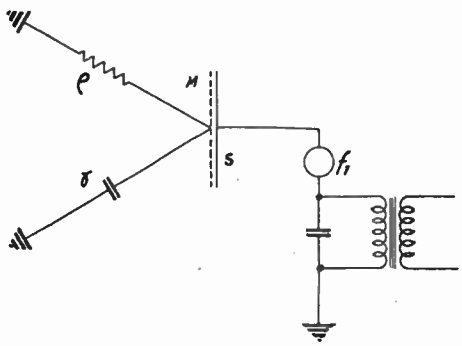


Fig. 21

En effet, l'intervalle de temps qui est seul utilisable pour la décharge est celui pendant lequel la particule est positive par rapport à la masse.

En l'absence de faisceau, la tension de la mosaïque comptée à partir de la masse est :

$$u_2 = u_1 (\sin \omega t - 1) + u_0$$

(u_0 étant égal à $\dfrac{q_0}{C}$). Equation valable seulement entre les limites t_1 et t_2 définies par : $u = o$, c'est-à-dire pour :

$$\sin \omega_1 t = 1 - \frac{u_0}{u_1}$$

La courbe sinusoïdale de cette tension est modifiée par l'impact du faisceau ; entre les limites, on a (on suppose ρ constant) :

$$\frac{C}{q} + \rho \frac{dq}{d_1} + u_1 \sin \omega t = o$$

avec les conditions :

$$\frac{dq}{dt} = 0 \text{ pour } t = t_1 \text{ tel que } \sin \omega t_1 = 1 - \frac{u_0}{u_1}$$

$$\frac{dq}{dt} = 0 \text{ pour } t = t_2 \text{ tel que } \sin \omega t_2 = \pi - \omega t_1$$

Par suite des discontinuités, le calcul reste difficile, même en admettant des modifications

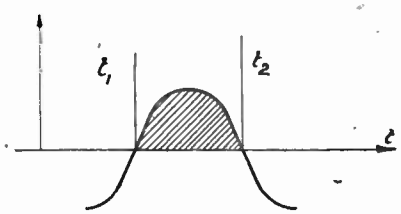


Fig. 20

comme la substitution d'un découpage rectangulaire à la modulation sinussoïdale. Nous n'en donnerons que les résultats quitte à publier ultérieurement les détails de cette étude, plus longue que la précédente.

Les conclusions en sont les suivantes :

1° L'amplitude du battement résultant est proportionnelle à l'éclairement de chaque point ;

2° Le trainage est un peu plus accentué, toutes choses égales d'ailleurs ;

3° Pour obtenir un bon rendement et un trainage acceptable, l'intensité maxima du faisceau doit être assez élevée, d'où une concentration plus difficile. Par contre, l'oscillation f_1 ne doit pas être de grande amplitude ;

4° L'amplitude maxima du battement est égale à environ quatre fois celle de l'impulsion obtenue avec un faisceau continu, dans les mêmes conditions d'éclairement.

Toutes les difficultés ne sont pas encore résolues, mais les premières applications de l'isoscope avec haute fréquence modulée sont pleines de promesses.

Les laboratoires de la Compagnie des Compteurs préparent dès maintenant un matériel complet basé sur ce perfectionnement.

R. BARTHÉLEMY.

LES TUBES ELECTRONIQUES D'EMISSION [1]

PAR

M. MATRICON,

Docteur ès Sciences,
Directeur du Département Radio-Emission de la C. F. T. H.

J. CHANTEREAU,

Chef du Service Fabrication de la Section Tubes Electroniques.

R. MONTAGNE,

Chef du Service Etudes et Essais de la Section Tubes Electroniques.

A. LAURENT,

Chef du Service Contrôles et Recherches Physico-Chimiques de la même Section

SOMMAIRE

Cet article expose les contributions apportées par le service de recherches de la Compagnie Française Thomson-Houston dans le domaine de la conception technique des tubes à vide d'émission du type dit à anode extérieure et dans le domaine connexe de la technologie de fabrication de ces mêmes tubes à vide. Il n'est pas fait mention des efforts accomplis dans le domaine des tubes pour ondes très courtes et des tubes de prise de vue de télévision. Les auteurs ont adopté le terme de tubes à anode extérieure parce qu'ils désiraient englober dans leur exposé, à la fois les tubes à refroidissement par eau et les tubes à refroidissement par air forcé, car ces deux types de tubes ont pour caractéristique commune de posséder une anode faisant partie de la surface extérieure de l'ensemble.

I. — LES NOUVELLES TECHNIQUES DE FABRICATION DES TUBES D'ÉMISSION

Introduction.

Depuis une vingtaine d'années, l'évolution de la technique du verre et du vide a permis la réalisation de tubes à anodes extérieures de plus en plus puissants, et fonctionnant à des fréquences de plus en plus élevées.

Toutefois, par suite de l'adoption de procédés de fabrication identiques, les différents constructeurs sont arrivés progressivement à offrir à leur clientèle des modèles de tubes présentant des ressemblances suffisamment étendues pour qu'on puisse les considérer comme se rapportant à un « type conventionnel » d'appareil.

■

Nous nous proposons de critiquer ce « type conventionnel » afin d'en déduire les améliorations qu'il est souhaitable de lui apporter. Toutefois comme certaines critiques visent certaines dimensions, il est indispensable d'exposer au préalable les différentes étapes de la construction d'un tel tube afin de montrer dans quelle mesure certaines dimensions et certaines dispositions relatives d'organes sont imposées par la nature des procédés de fabrication utilisés. La figure 1 représente en *a*, *b*, *c*, *d*, les principales pièces détachées constituant un tube d'émission et de 1 à 10 les différentes opérations d'assemblage de ces pièces détachées.

L'opération 1 a pour but la réalisation du support de cathode servant d'entrée de courant de chauffage étanche au vide : un tube de verre ramolli dans la flamme de chalumeaux est écrasé sur les tiges de métal approprié formant support de cathode. La pièce ainsi réalisée est souvent appelée pied de lampe. Dans les opérations 2 et 3 des pièces de verre sont travaillées au chalumeau de façon que soient rapportés sur le pied de lampe un tube support de grille et un queusot de pompage. En 4 la cathode et la grille sont montées sur le pied précédemment réalisé. Les opérations 5 et 6 ont pour but de souder la verrerie principale du tube sur l'anode et par l'opération 7, qui s'effectue ordinairement sur un tour vertical, le pied de lampe est soudé sur la verrerie principale déjà réunie à l'anode. La sortie du courant de grille est réalisée à part, par soudure au chalumeau d'un élément de tube de verre à une pièce métallique cylindrique portant suivant son axe une tige de connexion (opération 8) et en 9, ce petit ensemble est soudé sur la verrerie principale après que la tige de connexion ait été vissée dans un écrou solidaire d'une lame métallique reliée à la grille. On obtient ainsi en 10 le tube que nous avons appelé conventionnel. Ce tube présente les inconvénients que nous allons analyser :

L'inductance de la connexion reliant la partie active de la grille à la partie accessible de la sortie de grille est importante du fait que cette conne-

(1) Conférence faite à la Société des Radioélectriciens par M. MATRICON, le 24 février 1945.

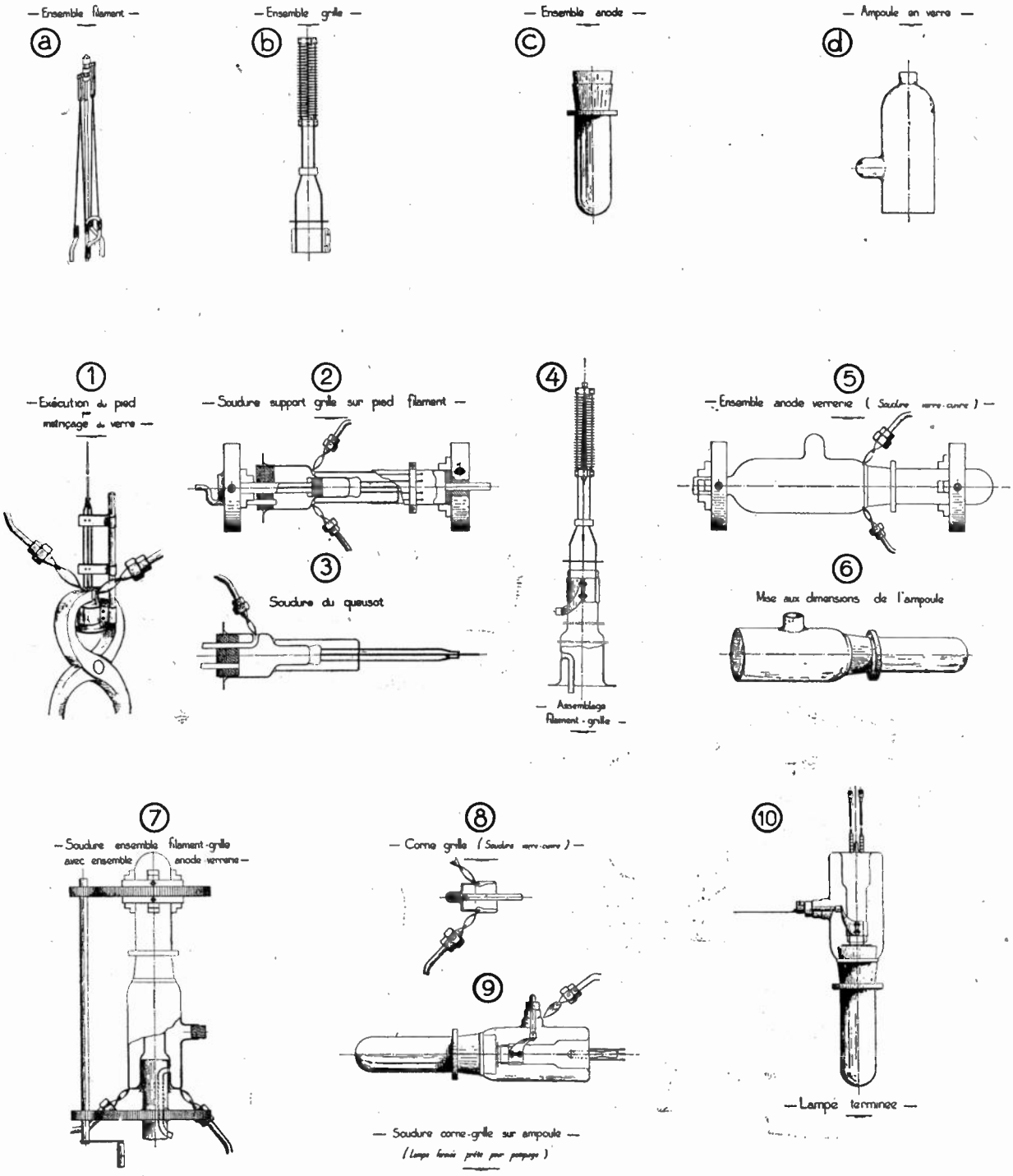


FIG. 1. — Différentes étapes de la fabrication d'un tube « conventionnel ».

xion est mince et longue. Dans le cas du fonctionnement sur ondes courtes où il faut faire passer par la sortie de grille un courant important dû au courant capacitif grille-anode, les dimensions de la sortie de grille limitent les possibilités d'utilisation du tube. Des considérations analogues s'appliquent aux entrées de cathode et à l'inductance qu'elles présentent. Ces inductances sont exagérées par les dimensions de la verrerie, dimensions qui sont imposées non pas par des considérations d'isolement entre grille et cathode pendant le fonctionnement du tube, mais uniquement par des considérations technologiques pour permettre l'opération 7. De plus le pied de lampe forme un appendice rentrant à l'intérieur de l'enceinte étanche au vide, appendice non refroidi dans lequel les points de passage des électrodes à travers le verre peuvent chauffer dangereusement. Dans le cas des tubes de grande puissance on est obligé de refroidir par une circulation d'eau ces parties fragiles. Enfin l'exposé des opérations d'assemblage successives d'un tel tube montre que la technique du travail du verre au chalumeau joue un rôle prépondérant et on connaît bien les inconvénients qu'elle comporte : dépendance de la réussite des opérations de l'habileté des individus, d'où nécessité d'une main-d'œuvre spécialisée, manque de précision, obligation d'utiliser des pièces de verre dont la forme et les dimensions ne sont pas techniquement les meilleures, altération des électrodes par la flamme du chalumeau. Dans le cas des tubes dont la cathode est chauffée par des courants polyphasés, la juxtaposition dans un espace restreint de conducteurs nombreux parcourus individuellement par des courants importants, le tout formant avec le verre un ensemble étanche au vide, pose un problème technologique qui est rarement susceptible d'une solution élégante.

■

On conçoit donc l'intérêt d'une technique de fabrication permettant de réaliser un type de tube d'émission échappant aux critiques qu'on vient de formuler. Ceci conduit d'une façon générale à adopter une structure dont la fig. 2 représente une application particulière.

L'anode de ce tube, non visible sur la figure, est identique à l'anode du tube de la figure 1-10.

L'intérêt de la structure adoptée réside dans la forme générale de la verrerie qui est convexe, et par conséquent dénuée d'appendice rentrant susceptible de chauffer exagérément, dans le support de grille de grandes dimensions et par conséquent de faible inductance fixé directement à un anneau soudé dans le verre permettant d'évacuer un courant considérable, dans la répartition des entrées de cathode sur un large espace donnant la possibilité d'en mettre un nombre suffisant dans le cas de chauffage par courant polyphasé, enfin, ce qui n'apparaît pas sur la figure, dans l'adoption de la technique générale de fabrication qui sera exposée plus loin.

La structure d'ensemble ainsi présentée échappe évidemment aux critiques que nous avons formulées antérieurement.

Il convient de noter qu'elle n'est pas originale, car certains constructeurs ont réalisé des tubes

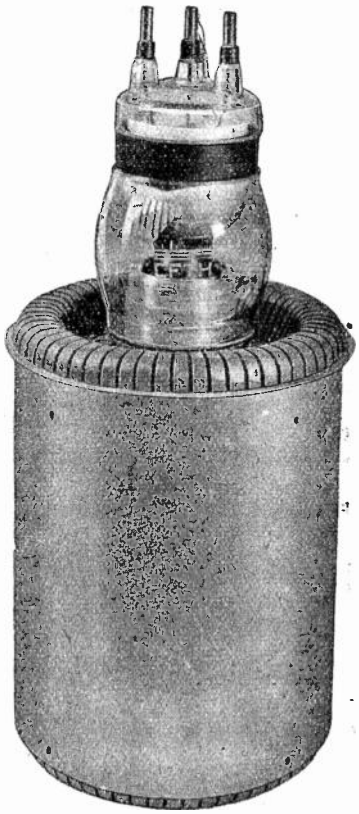


FIG. 2. — Tube 223.

exceptionnels dans lesquels la connexion de grille était fixée comme nous venons de l'indiquer, ou bien dans lesquels la structure d'ensemble était convexe et les entrées de cathodes fixées sur de petits appendices sortants et non pas rentrants.

Toutefois, à cause semble-t-il des difficultés de réalisation lorsque l'on travaille le verre au chalumeau, ces structures n'ont été utilisées que dans quelques rares cas bien déterminés et n'ont pas été généralisées.

Il ressortira de notre exposé que par suite de l'utilisation de méthodes de fabrication particulières, une telle structure peut être aisément généralisée à tous les modèles figurant dans un même catalogue.

Technique nouvelle de fabrication.

L'essentiel de cette technologie de fabrication réside dans le rejet quasi total du travail au chalumeau, dans l'utilisation exclusive de pièces de verre moulé fabriquées à la forme et aux dimensions convenables, enfin, dans l'assemblage de ces pièces de verre et des électrodes sur des machines utilisant uniquement le chauffage électrique et suffisamment précises et perfectionnées pour ne

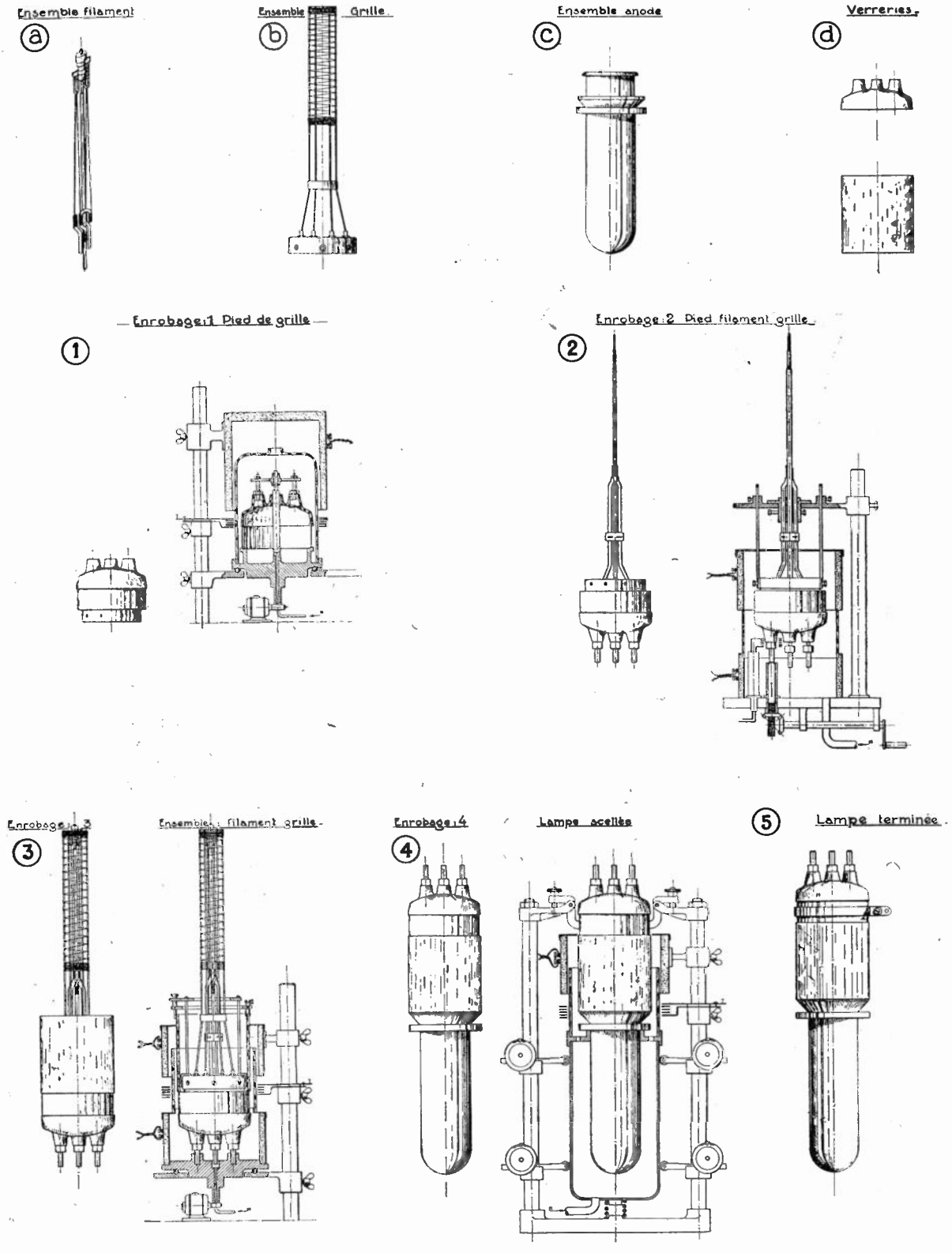


FIG. 3. — Différentes étapes de fabrication des tubes C. F. T. H.

pas nécessiter une habileté spéciale de la part de l'opérateur.

La structure des tubes ainsi constitués par un ensemble de pièces métalliques et de pièces en verre moulé permet dans la construction une grande précision de montage du fait qu'il n'y a aucune soudure entre deux pièces de verre, ce qui élimine complètement l'emploi de chalumeau et les inconvénients qui s'y rattachent : vapeur d'eau, gaz brûlé, oxydation des parties métalliques, irrégularité de chauffage.

La technique utilisée soustrait complètement les divers éléments du joint verre-métal à l'action directe de la flamme, aussi bien dans les réchauffages qui précèdent ou qui suivent l'opération proprement dite que pendant cette opération elle-même, et ceci du fait de l'emploi du chauffage électrique aussi bien pour chauffer des surfaces importantes que pour élever rapidement et localement la température de la zone de soudure.

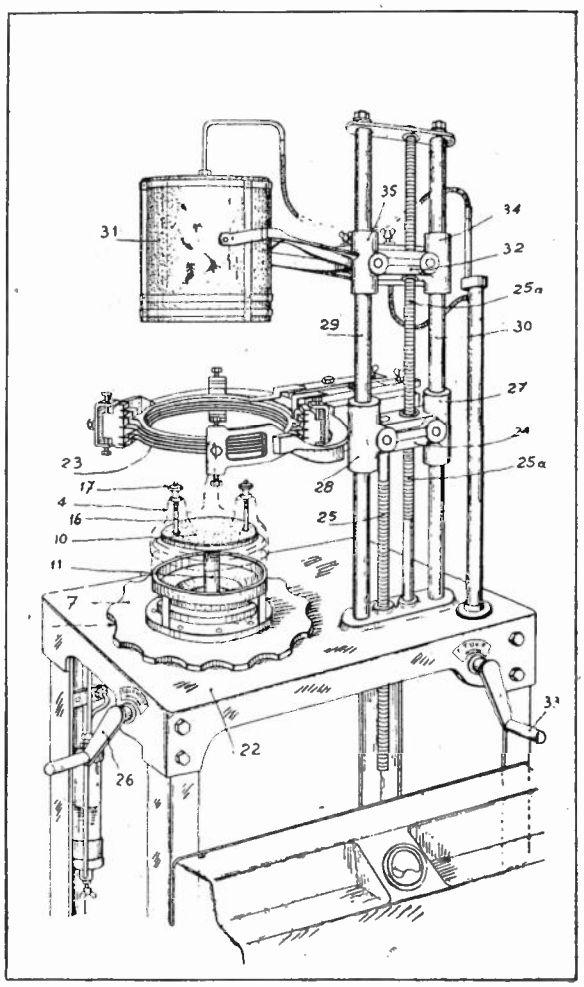


FIG. 4. — Machine de soudure verre-métal pour la réalisation du joint N° 1. (Schéma.)

Cette façon d'opérer présente, en outre, une grande facilité de contrôle qui permet de reproduire exactement les mêmes cycles thermiques, d'opérer toujours dans la même atmosphère qui règle le degré d'oxydation des pièces à la valeur optima demandée par la solidité du scellement.

Pour construire un tube il faut réaliser 4 joints verre métal.

Un premier joint entre la calotte de verre fermant le tube et le collet supportant la grille, fig. 3_1.

Un deuxième joint entre les entrées de courant de la cathode et les appendices de la calotte, fig. 3_2.

Un troisième entre le collet supportant la grille et la verrerie principale, fig. 3_3.

Un quatrième joint entre la verrerie principale et le collet d'anode, fig, 3_4.

Ces divers joints sont effectués au fur et à mesure du montage de la lampe. Ces quatre opérations s'effectuent sur les machines représentées sur la figure 8.

Nous allons les décrire succinctement.

■

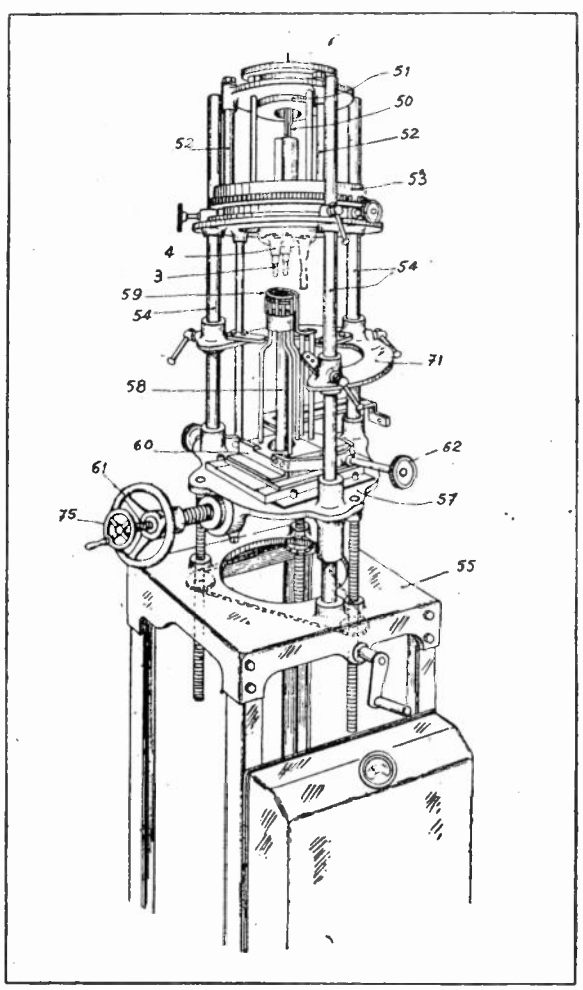


FIG. 5. — Machine de soudure verre-métal pour la réalisation du joint N° 2. (Schéma.)

1er joint. — Fig. 4 entre calotte de verre et collet sortie de grille.

Le collet convenablement usiné et dégazé est placé sur un plateau horizontal, à axe creux, tournant autour de son axe par l'emploi d'un moteur démultiplié à une vitesse choisie expérimentale-

ment. Sur le collet est placée la calotte en verre moulée qu'un dispositif maintient centrée sur le collet. Les deux parties du joint sont donc à ce moment l'une contre l'autre et solidaires du plateau tournant. On règle alors mécaniquement la profondeur du joint que l'on désire obtenir. L'ensemble est placé en atmosphère neutre et réchauffé convenablement par une étuve. Quand le cycle thermique est achevé, on élève localement par un courant H.F. la température de la partie

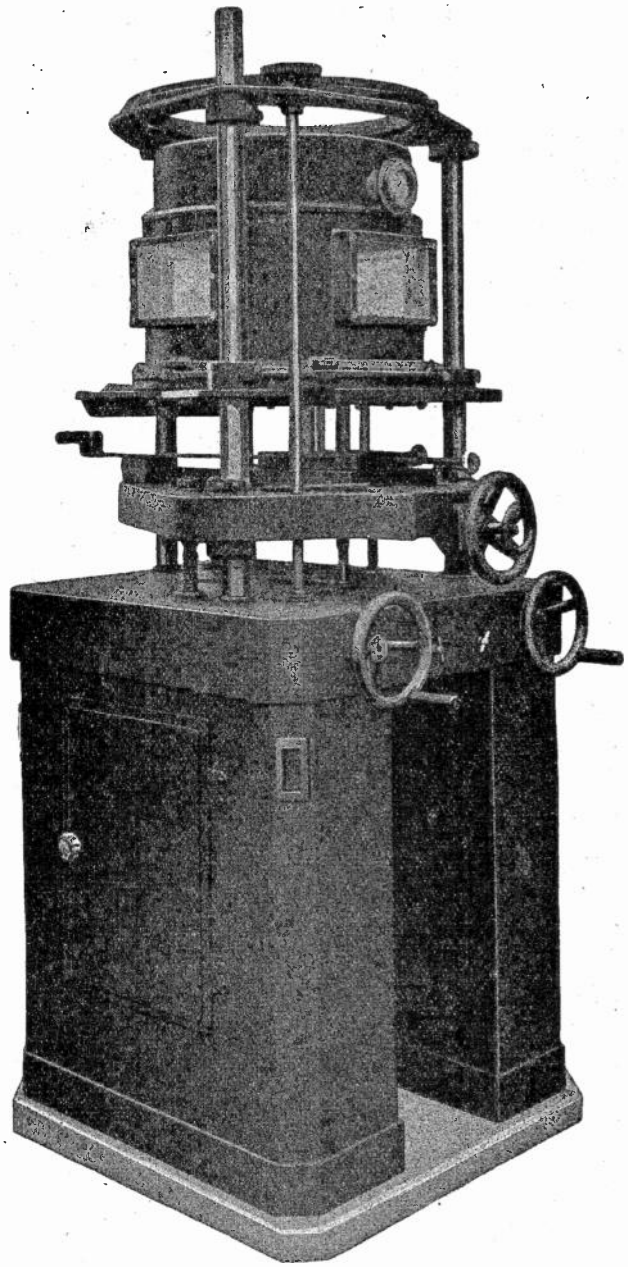


FIG. 6. — Machine de soudure verre-métal pour la réalisation du joint N° 2.
(Vue d'ensemble de la machine grand modèle.)

du collet en contact avec la verrerie. Quand le métal est assez chaud, il ramollit le verre qui, par son propre poids, descend de la quantité réglée à l'avance. Cette opération terminée, il ne reste plus qu'à recuire le scellement suivant un cycle thermique défini.

■

2° *joint.* — Fig. 6, entre les entrées de courant et la calotte de verre.

Avant de procéder à cet assemblage, les poutres de filaments ont été assemblées aux entrées de c ourant proprement dites. On dispose donc d'un ensemble constitué par le collet de grille solidaire de la calotte et les entrées de courant avec leur bague et les poutres de filaments.

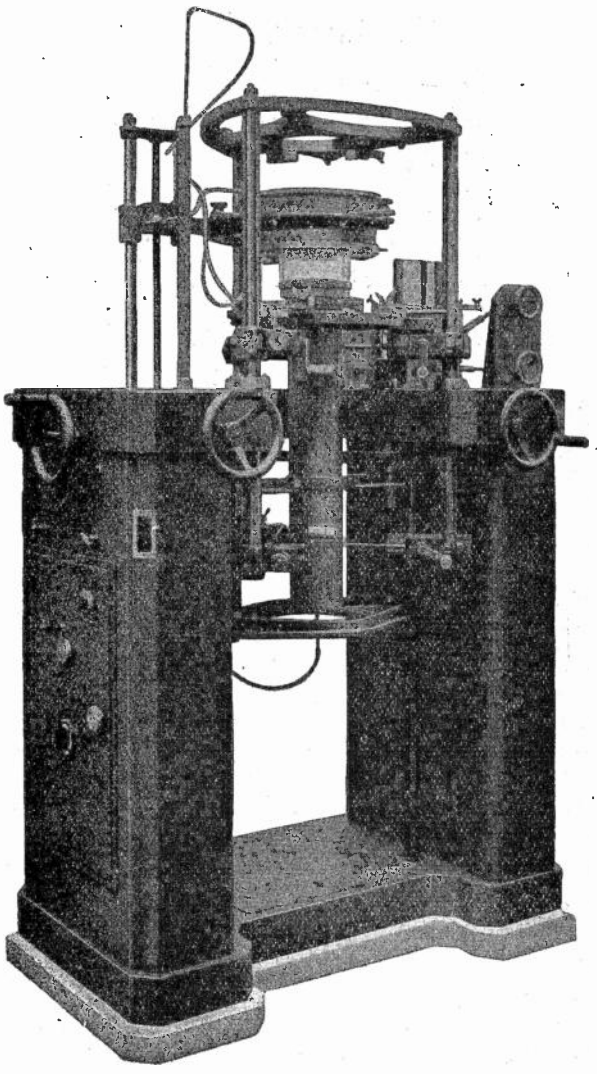


FIG. 7. — Machine de soudure verre-métal pour la réalisation des joints N°s 3 et 4.
(Vue d'ensemble de la machine grand modèle.)

Ces dernières sont centrées individuellement sur la machine d'enrobage qui est constituée, ainsi que le montre la fig. 6 par une enceinte à double étuve qui enferme les parties de la lampe à assembler et les connexions H.F. en atmosphère appropriée. L'ensemble collet-calotte de verre est solidaire d'un plateau que l'on peut faire tourner à la main et qui maintient les entrées de courant tournées vers le bas.

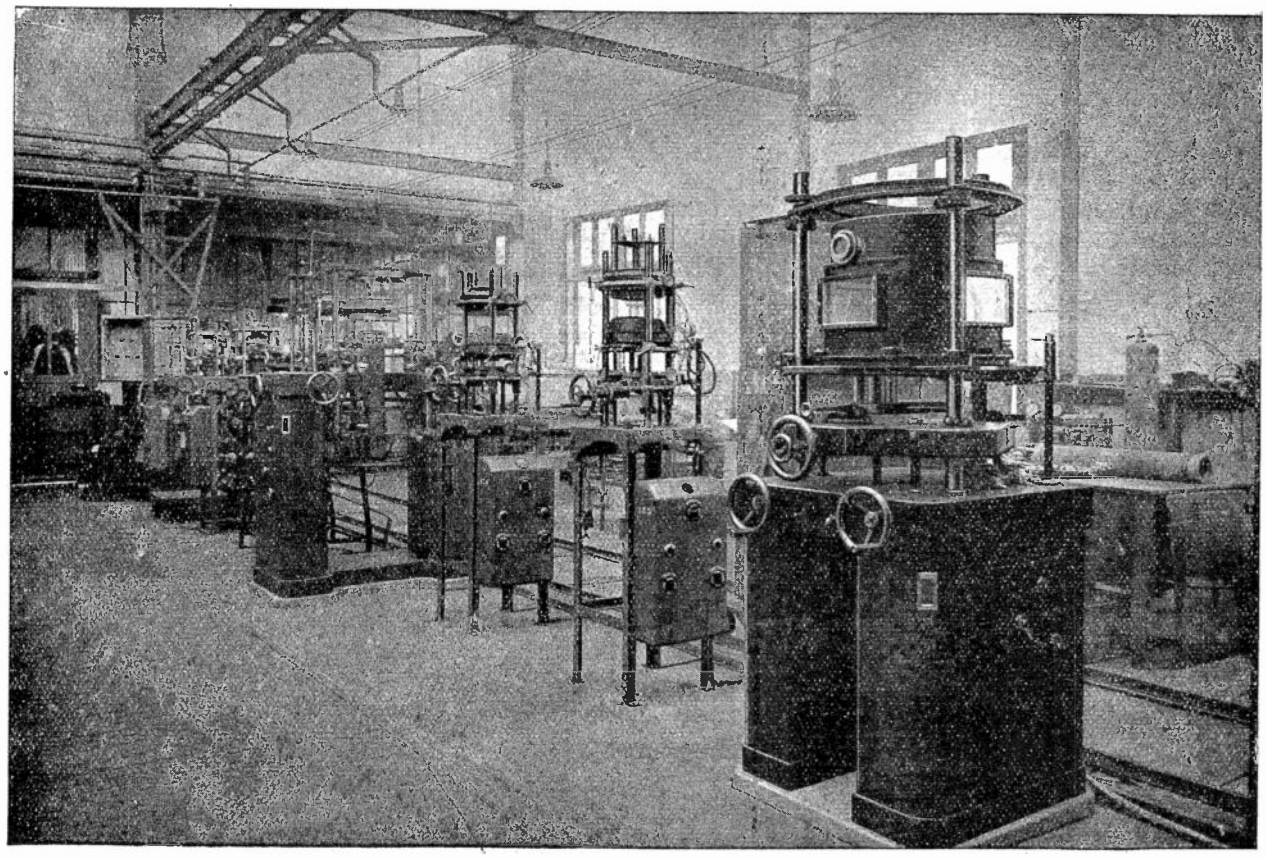


FIG. 8. — Vue de la salle des machines de soudure verre-métal. Depuis le fond de la salle, on aperçoit deux machines identiques à celle de la figure 9, une machine identique à celle de la figure 7, une machine identique à celle de la figure 6. On distingue les rails sur lesquels se déplacent les générateurs à haute fréquence alimentant les machines de soudure.

La machine comporte un deuxième plateau qui peut se déplacer parallèlement à lui-même dans le sens vertical et qui porte un tube de guidage à l'intérieur duquel coulisse une tige dont le déplacement est commandé de l'extérieur par un volant. Le solenoïde peut également être manœuvré dans les trois dimensions de l'extérieur ; les deux étuves sont séparées par un large cylindre de verre qui permet de se rendre compte commodément des opérations.

L'opération elle-même du scellement peut se décomposer ainsi : après le cycle thermique voulu, on réchauffe le collet d'entrée de courant à la température nécessaire, le verre qui est à son contact se ramollit et à ce moment, de l'extérieur, grâce à la pièce coulissante dans le tube de guidage, on fait pénétrer à la main ou automatiquement le métal dans le verre de la quantité choisie à l'avance. Pour le joint de l'entrée de courant suivante, on amène celle-ci par les mouvements de translation et de rotation appropriés des plateaux inférieur et supérieur, dans les tubes de guidage, et on recommence l'opération.

On voit ainsi que l'on peut enrober aussi facilement une lampe triphasée qu'une lampe hexaphasée, le nombre d'opérations n'étant nullement limité. Les dimensions des pièces des lampes de grande puissance ont conduit à la réalisation de machines de grand modèle, ainsi que le montre

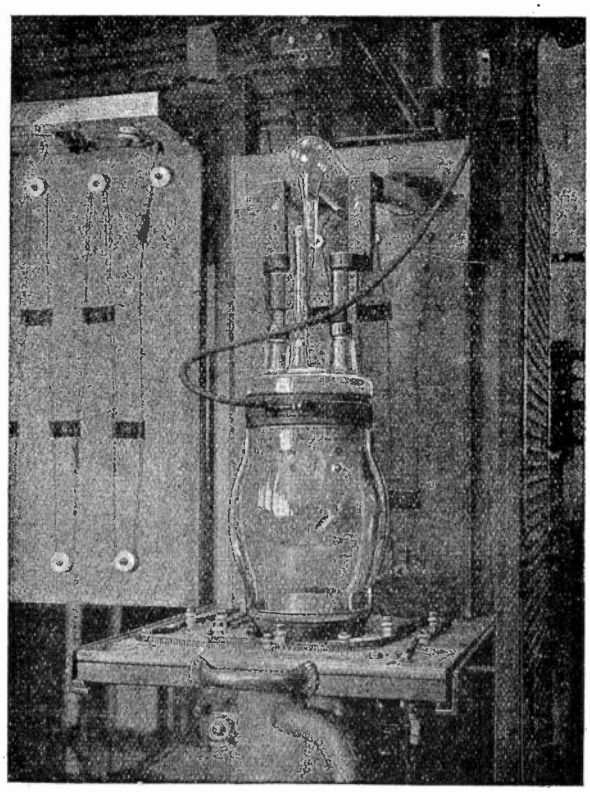


FIG. 9. — Tube d'émission à grande puissance sur banc de pompage.

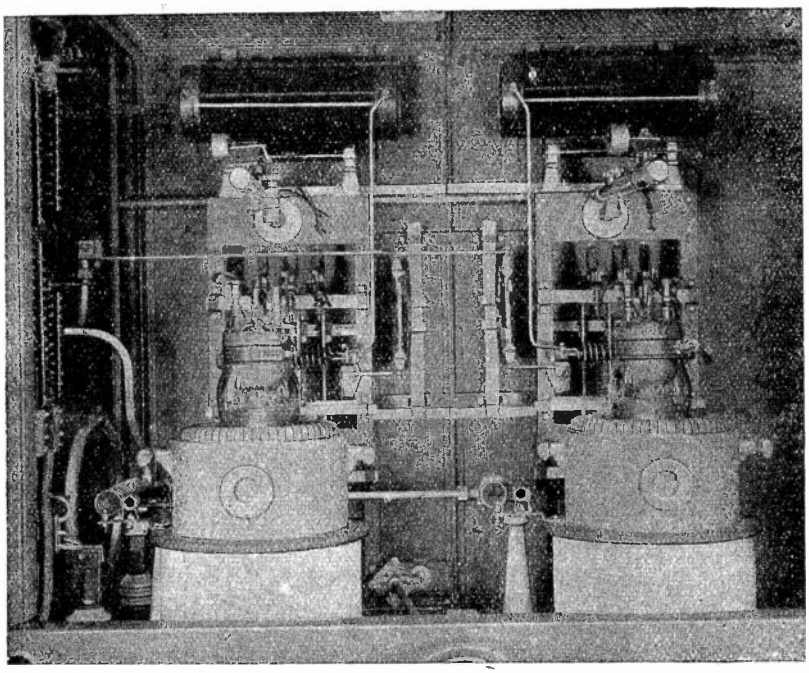


FIG. 10. — Partie d'un étage de puissance d'un émetteur de radiodiffusion de 10 kw équipé avec des tubes 223.

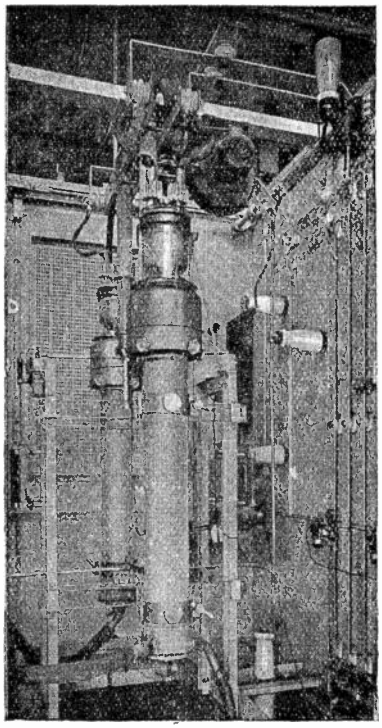


FIG. 11. — Etage de sortie d'une chaine d'amplification à basse fréquence équipé avec des tubes 103.

la figure 6. Il est d'ailleurs possible d'effectuer dans ces machines les opérations correspondant aux lampes de puissance moyenne et petite.

■

3e joint. — Pour effectuer ce joint, qui est le deuxième effectué sur le collet de grille, la verrerie est maintenue rigidement et centrée sur le haut de la machine d'enrobage (fig. 7). La calotte est posée et centrée, les entrées de courant dirigées vers le bas dans une pièce repoussée de même coefficient de dilatation qui épouse exactement sa forme. On amène au contact le collet de grille et la verrerie, et on place le tout dans une étuve en atmosphère convenable.

Par la tension de deux ressorts, on règle la hauteur dont on veut faire pénétrer le métal dans le verre. Quand le cycle thermique est accompli, on chauffe le métal du collet en H.F., et celui-ci, sous l'action des ressorts, pénètre dans le verre qu'il a ramolli.

On voit que cette opération est parfaitement mécanique dans son exécution comme dans sa préparation.

Il ne reste plus, après les opérations habituelles de nettoyage chimique tels que décapage, brillantage électrolytique, etc..., qu'à fermer la lampe par la confection du 4e joint entre le collet de l'anode et la verrerie.

■

4e joint. — Cette opération se fait sur la même machine et avec la même technique que la précédente (fig. 7).

Le tube est maintenu rigidement par la calotte et centré à la partie supérieure de la machine, la calotte étant tournée vers le haut. En même temps, la structure de grille est centrée sur la machine au moyen de deux systèmes de palpeurs dont ont fait affleurer les roulettes à la surface de la grille. Quand le centrage est obtenu, on desserre les palpeurs d'une quantité connue et suffisante, pour que le cylindre anodique qui est supporté à la partie inférieure de la machine puisse passer librement. On remonte alors l'anode jusqu'à ce que son collet vienne affleurer la verrerie, et en rapprochant les palpeurs d'une quantité donnée par les cales, on centre l'anode sur la grille. On voit donc que par ce montage les différents éléments de la lampe sont centrés. On bande alors les ressorts de la quantité voulue pour donner la hauteur d'enrobage. L'opération se conduit exactement comme la précédente.

Conclusion.

Les joints verre-métal sont ainsi réalisés tout au long de la construction des tubes, avec une régularité et une qualité qui ne pouvaient être obtenues autrefois, malgré l'emploi de souffleurs de verre de grande habileté manuelle.

Ce procédé de fabrication correspond donc à un perfectionnement technologique important. Il permet, en effet, de remplacer une main-d'œuvre rare et hautement qualifiée par une main-d'œuvre simplement spécialisée.

Il rend possible la réalisation mécanique et précise d'opérations qui, jusque-là, n'étaient susceptibles que d'une réalisation approximative.

Enfin, les délicates opérations d'assemblage des

pièces constitutives des tubes d'émission se font, grâce à ce procédé, en atmosphère contrôlée, c'est-à-dire à l'abri des oxydations intempestives.

Mais il faut aussi remarquer qu'à côté de ces avantages technologiques figurent des avantages techniques au moins aussi importants.

Les tubes d'émission réalisés selon ces procédés peuvent avoir la forme techniquement la mieux appropriée à leur destination finale : forme générale convexe évitant les échauffements locaux et dangereux — faible inductance du support de grille — grande capacité d'évacuation du courant de la connexion de grille — grand espace permettant de placer les nombreuses connexions de chauffage des tubes à cathodes polyphasées.

On voit donc les avantages importants qui résultent, en ce qui concerne la qualité des tubes d'émission, de méthodes d'assemblage mises au point.

Il est évident que la fabrication des tubes d'émission nécessite, outre les machines de soudure verre-métal, la mise en œuvre de matériels très divers, mais il n'est pas utile d'exposer le détail de ces matériels et notamment de ceux nécessaires à l'élaboration des pièces détachées, au pompage et aux essais des tubes d'émission terminés.

Tous ces matériels sont connus en eux-mêmes et ont été perfectionnés dans la mesure où la nature et l'importance des travaux nécessaires à la fabrication des tubes d'émission de grande puissance le nécessitaient.

II. — LA NORMALISATION DES PIECES DETACHEES DANS LA FABRICATION DES TUBES D'EMISSION C.F.T.H.

La liste générale des tubes d'émission à anode extérieure fabriqués par la Compagnie Française Thomson-Houston est caractérisée par le développement des tubes à chauffage polyphasé de toutes puissances, ainsi que des tubes de moyennes puissances à refroidissement par circulation d'air forcé.

La structure de chacun de ces tubes a été déterminée de façon qu'un nombre de pièces détachées aussi grand que possible puisse servir dans plusieurs tubes différents, ce qui conduit à une réduction importante du nombre total des éléments distincts et ce qui permet de fabriquer ces éléments en séries beaucoup plus importantes que si chacun d'eux n'appartenait qu'à un seul modèle de tube.

Dans la suite de cet exposé, nous nous référons à des tubes d'émission dont les dimensions et les caractéristiques sont représentées dans le tableau annexé à la fin de ce numéro.

Si l'on excepte les tubes 121, 114 de toutes petites puissances (de 1 à 10 Kw) destinés à fonctionner en ondes métriques, ainsi que le tube 101 à faible coefficient d'amplification, et destiné à l'amplification en basse fréquence, les vingt autres modèles de tubes sont réalisés avec un nombre d'éléments relativement réduit ; par exemple les tubes 102 et 123 utilisent rigoureusement la même anode, la même verrerie principale, le même support de grille, la même grille, la même calotte de verre et le même type d'entrée de cathode, ceci est évidemment encore valable pour les tubes 202 et 223.

La même remarque s'applique à la séquence des tubes 111, 127, 128, mais de plus, le support annulaire de grille de ces trois tubes est identiquement le même que celui des tubes 102 et 123. Par contre l'anode qui est différente sert, sans modification, pour la fabrication du tube 129. Celui-ci se distingue donc seulement par une verrerie principale différente et une calotte pour entrée de cathode spéciale. Le collet support de grille du tube 129 est le même que celui des tubes 103, 108, 109, l'anode des tubes 111, 127, 128 et 129, d'une part, ne diffère de l'anode des tubes 103, 104, 108, 109, 125 et 126 que par la longueur du tube de cuivre ; en ce qui concerne le fond de l'anode, la bague support, le collet de soudure au verre, ces éléments sont identiques sur les 10 tubes d'émission mentionnés ; de plus, les entrées de cathode du tube 129 sont du même modèle que ceux des tubes 102, 123, 111, 127, 128.

Les tubes 132, 133, 135, 136, 137 sont fabriqués

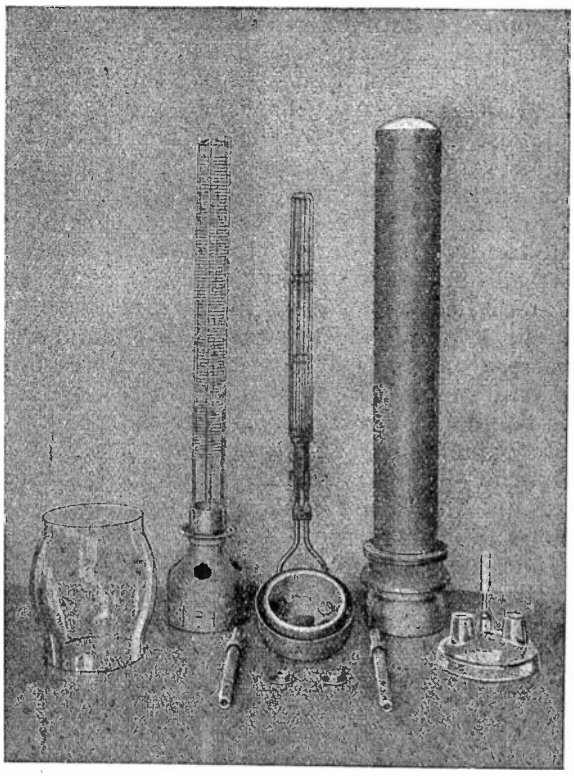


Fig. 12. — Pièces détachées des tubes d'émission types 103, 108, 109.

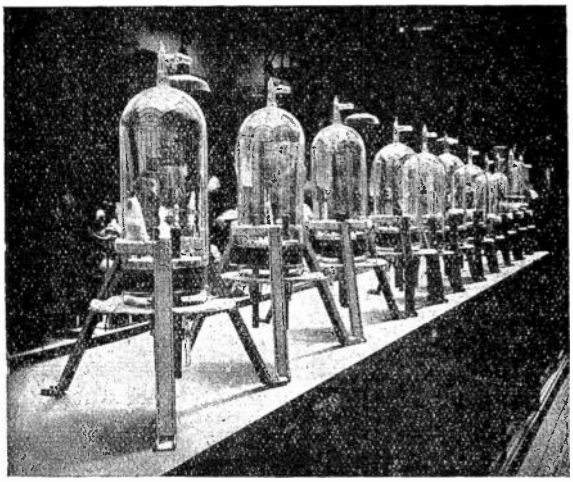


FIG. 13. — Série de sous-ensemble de tubes types 103, 108, 109 en cours d'essai d'étanchéité.

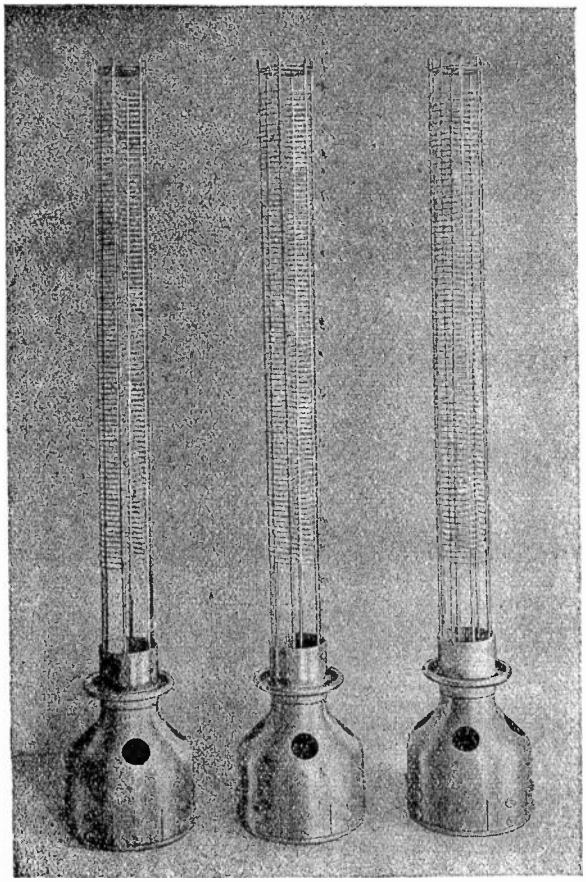


FIG. 15. — Grilles de tubes 103, 108 et 109.

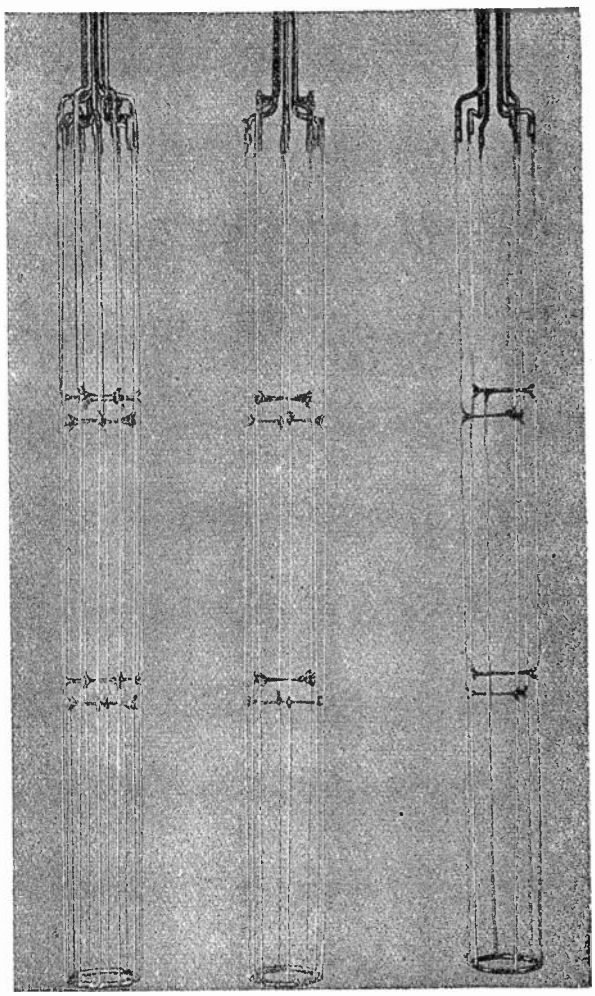


FIG. 14. — Cathodes de tubes 103, 108 et 109.

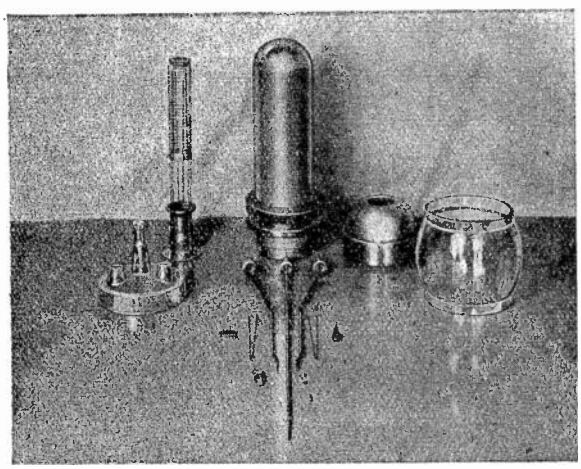


FIG. 16. — Pièces détachées de tubes types 102, 123.

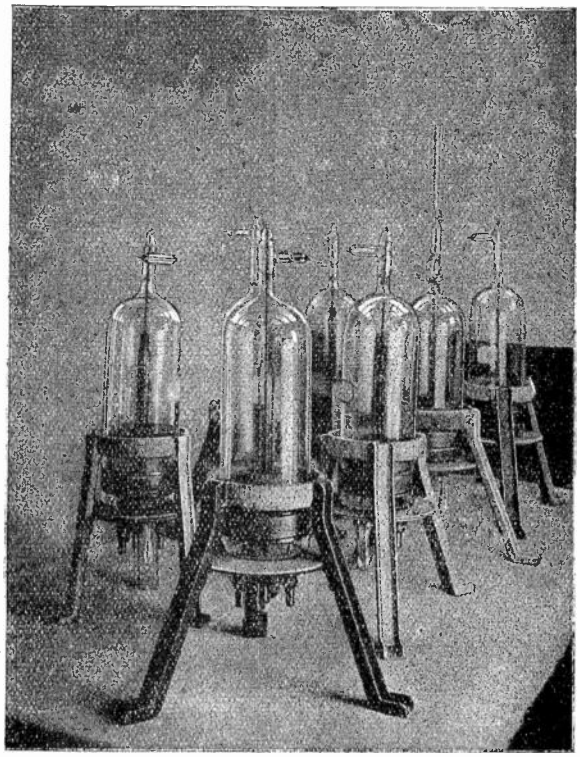


FIG. 17. — Série de sous-ensemble de tubes types 102, 123, en cours d'essai d'étanchéité.

en assemblant la même calotte d'entrée de cathode, le même anneau support de grille, la même verrerie principale, les mêmes bagues et collets d'anode. Ils ne diffèrent que par la longueur de l'anode et évidemment par la longueur des parties actives de la cathode et de la grille, mais ils se raccordent au modèle précédent par le fait que les entrées de cathodes des tubes 103, 104, 108, 109, 125, 126 d'une part, et des tubes 132, 133, 135, 136, 137 d'autre part, sont identiques.

On voit que le souci d'affecter à la construction de tubes différents un grand nombre de pièces élémentaires identiques a été poussé aussi loin que le permettaient les nécessités de la technique.

Par exemple la fig. 16 représente les éléments constitutifs d'un tube 102. Il suffit d'ajouter à ces pièces détachées une entrée de cathode supplémentaire et quelques pièces internes de fixation du filament pour pouvoir monter un tube 123, sans qu'il soit nécessaire de changer quoi que ce soit aux pièces vues sur la figure.

De même, la fig. 12 représente les pièces détachées constituant un tube 109.

La figure 15 représente les grilles respectives des tubes 103, 104, 108, 109, 125, 126, et la figure

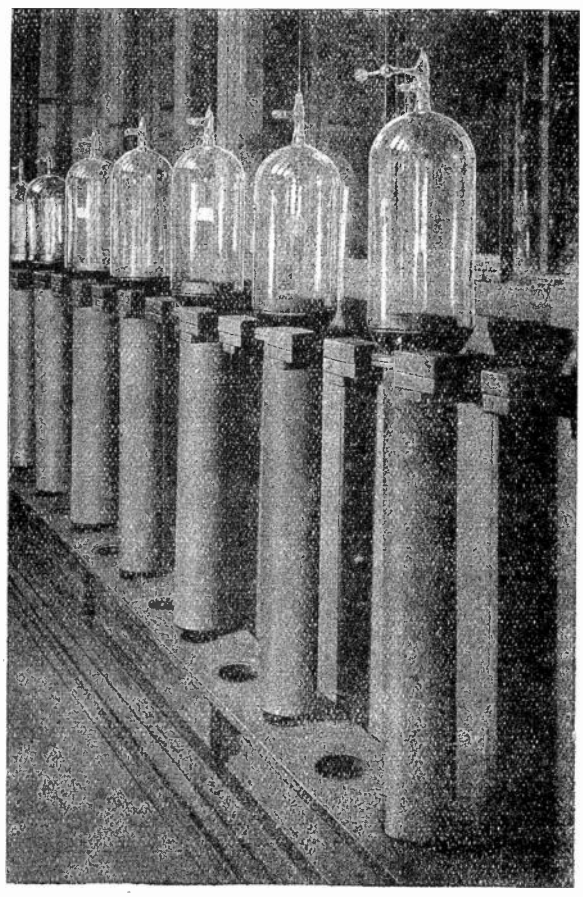


FIG. 18. — Série d'anodes de tubes 103, 108, 109, en cours d'essai d'étanchéité.

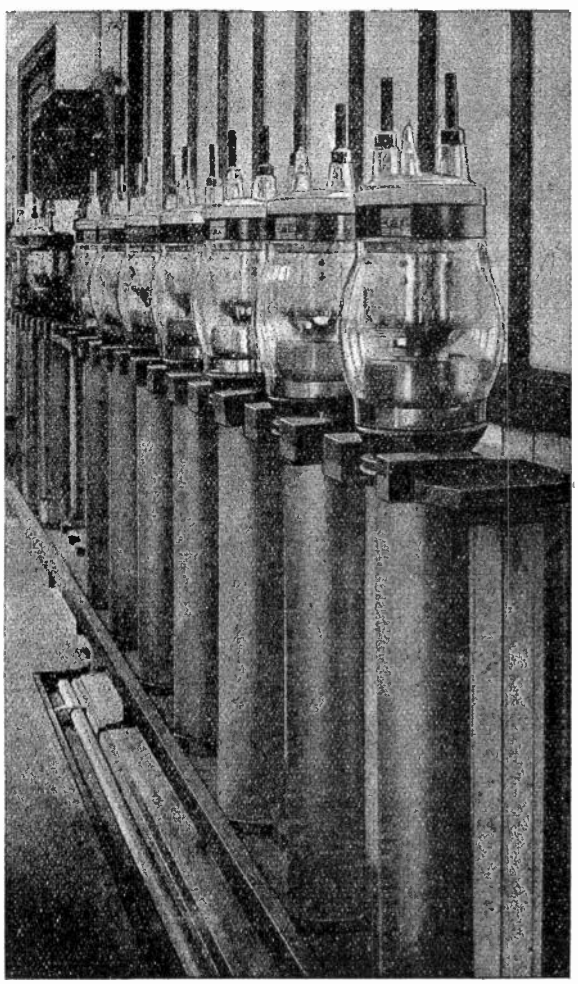


FIG. 19. — Série de tubes 103, 108, 109.

14 les cathodes respectives des tubes 103, 108, 109. Il suffit de prélever dans l'ensemble des pièces représentées sur la figure 12 la cathode et la grille caractérisant le tube 109 et de les remplacer respectivement par la cathode et la grille caractérisant le tube 103 ou le tube 108 pour pouvoir monter un tube 103 ou 108, sans qu'on soit obligé de modifier une autre pièce.

On est donc conduit à fabriquer d'une part des séries d'anodes que l'on met sous vide après les avoir soudées sur des cloches de verre (fig. 18). D'autre part, des sous-ensembles comprenant les entrées de cathodes, la calotte supérieure, la bague support de grille et la verrerie principale, sous-ensemble que l'on peut mettre également sous vide pour vérifier son étanchéité (fig. 13 et 17). Ces deux sortes d'éléments peuvent être réalisés en séries notables et attendre, sans aucun dommage, que le moment soit venu de monter une lampe d'un type ou d'un autre comportant leur utilisation.

Il est intéressant de remarquer au passage qu'on ne raccorde pas par une soudure sur verre la pièce de verre soudée à l'anode à la pièce de verre soudée au support de grille.

Une telle façon de faire qui est pourtant habituelle dans la pratique ordinaire des tubes d'émission imposerait un assemblage au chalumeau que nous avons délibérément écarté. Le processus est le suivant : la cloche de verre soudée à l'anode (fig. 18) est complètement enlevée, le collet d'anode soigneusement nettoyé de toute trace de verre pouvant rester adhérente, et le métal est mis à nu. C'est ce métal ainsi préparé qui de nouveau est soudé en H.F. au sous-ensemble essayé par ailleurs.

On voit donc que l'opération préalable de soudure d'une cloche sur l'anode a seulement pour but de permettre la vérification de l'étanchéité de l'anode elle-même, mais il n'est fait aucun usage de la vérification complémentaire qui informe que la soudure verre-métal est également étanche car les procédés de fabrication sont suffisamment constants pour que l'on puisse être sûrs que la nouvelle soudure qui servira à fermer la lampe par réunion de l'anode sur le sous-ensemble sera aussi étanche.

Les avantages de la normalisation que nous venons d'exposer sont évidents.

Seule cette normalisation, en réduisant le nombre des modèles de pièces et en augmentant l'importance des séries en fabrication permet d'utiliser un outillage que par son importance on ne pourrait envisager de réaliser pour la fabrication des pièces afférentes à chaque type de tubes électroniques. Par conséquent la normalisation des pièces détachées en rendant possible la réalisation d'un outillage important qui assure l'exactitude des pièces et la précision de leur assemblage, permet de réunir les conditions indispensables à l'obtention d'une fabrication de qualité.

(*A suivre.*)

M. MATRICON.
J. CHANTEREAU.
R. MONTAGNE.
A. LAURENT.

LES PIONNIERS DE LA DETECTION ELECTROMAGNÉTIQUE EN GRANDE-BRETAGNE

Adaptation d'un article paru dans Electronic Engineering, *septembre 1945, résumant une Conférence faite à Londres, le 14 août 1945, par Sir Stafford Cripps, Président du « Board of Trade »*

« Jamais, a dit Winston CHURCHILL en parlant des quelques centaines de pilotes de chasse qui, d'août 1940 à mai 1941 soutinrent victorieusement le choc des escadres de la Luftwaffe, jamais tant d'hommes n'ont dû tant à si peu... » Jamais, en effet, le sort de notre civilisation, le sort du monde, ne furent remis entre les mains d'un aussi petit nombre de soldats, et jamais tant de responsabilités ne furent sans doute assumées par une poignée d'êtres humains.

Il se trouve qu'une déclaration analogue pourrait s'appliquer, sans y rien changer, et avec autant de certitude, à ceux qui, au cours des années qui précédèrent les hostilités, puis pendant les premiers mois de celles-ci, recherchèrent et mirent au point les principes de la détection électromagnétique (radio-location), pour aboutir finalement aux Radar actuels. Sans doute, ceux-là ne risquèrent-ils pas leur vie, mais leur rôle ne fut pas moins grand et moins utile que celui des aviateurs : sans les premiers appareils de radiolocation, la bataille d'Angleterre aurait fort bien pu être perdue, et que serait-il arrivé alors, si, une fois l'aviation britannique mise hors de jeu, une tentative de débarquement avait eu lieu, à l'automne 1940? C'est une opinion fort répandue en Angleterre qu'à ce moment la nouvelle application de la radioélectricité changea une première fois le cours des événements.

La détection électromagnétique devait, un peu plus tard, modifier une seconde fois les prévisions de l'ennemi, en permettant de repérer les sous-marins, et en contribuant à faire gagner la bataille de l'Atlantique.

Les savants et ingénieurs qui ont ainsi droit à une si grande part de reconnaissance ont été honorés lors d'une réunion tenue à Londres le 14 août dernier, et au cours de laquelle Sir Stafford Cripps, président du *Board of Trade*, révéla leur nom, en donnant quelques détails sur les divers appareils mis au point.

Etant donné l'intérêt des extraits de cette conférence, que vient de publier le journal anglais *Electronic Engineering,* il nous a paru désirable de ne pas nous borner à en reproduire une simple analyse, mais bien au contraire de les adapter et de les compléter avec divers renseignements puisés à d'autres sources (en particulier dans le journal américain *Radio News*). En attendant les articles plus détaillés que l'*Onde Electrique* compte consacrer aux divers types de Radar et aux dispositifs dérivés des mêmes principes, cette adaptation donnera une idée d'ensemble de la question, et familiarisera les lecteurs avec les dénominations — parfois un peu bizarres — des divers appareils, ainsi qu'avec les abréviations qui les désignent.

P. B.

Plus que toute autre invention récente, le Radar a contribué à la victoire, tant sur mer que dans les airs, et il est juste que les noms des chercheurs qui se sont adonnés à sa réalisation soient connus et célébrés : s'ils n'avaient pas travaillé avec succès, il est bien possible que l'Angleterre n'ait pas tenu, lors des luttes aériennes de 1940-1941. Plus tard, il est bien possible aussi que l'action des sous-marins allemands ait pu arriver à faire perdre aux Alliés la maîtrise de la mer.

La Conférence de Sir Stafford Cripps n'a d'ailleurs pour but que de faire connaître les noms des chercheurs anglais. Les Américains, de leur côté, qui ont étudié d'abord indépendamment, puis en liaison avec les Britanniques, les Radar, publieront, le moment venu, des renseignements analogues pour ce qui les concerne. Il ne saurait d'ailleurs s'agir de rechercher qui, d'un côté ou de l'autre de l'Atlantique, a la plus grande part dans tel ou tel perfectionnement : les études ont en effet été poursuivies dans une confiance mutuelle totale.

C'est en 1933, lors de l'arrivée d'Hitler au pouvoir, que le ministère de l'Air britannique commença à s'inquiéter des possibilités d'attaque aérienne brusquée sur Londres, et étudia les moyens d'obvier à ce danger. M. Wimperis, directeur des Recherches scientifiques du ministère de l'Air, et M. Rowe, son adjoint, signalèrent l'intérêt que présenterait un système de détection permettant d'être prévenu de l'approche d'un avion.

Lord Swinton, alors ministre de l'Air, nomma une Commission chargée d'étudier la question. Elle comprenait Sir Henry Tizard, le professeur A.-V. Hill, le professeur Patrick Blackett et M. Wimperis. M. Rowe remplissait les fonctions de secrétaire.

S'inspirant des travaux de Appleton, Breit et Tuve sur la mesure de la hauteur de la couche d'Heaviside par des ondes pulsées réfléchies, c'est le physicien bien connu Watson Watt (aujourd'hui Sir Robert Watson Watt) qui, en 1935, présenta à la Commission des propositions tendant à détecter les avions par les échos qu'ils provoquent lorsqu'ils sont frappés par une onde radioélectrique (1).

Six mois plus tard, en septembre 1935, une première station était en service sur la côte britannique, et permettait de détecter un avion à une distance de 50 milles. En 1938, une chaîne de stations défendait les approches ouest du sud de l'Angleterre et signalait les avions jusqu'à une distance d'environ 150 milles. On pouvait dès lors estimer que Londres était protégée contre toute

(1) Voir *Onde Electrique,* août 1945, p. 5 A, « Principe des Radar ».

surprise et qu'en cas d'attaque aérienne on aurait tout le temps nécessaire pour donner l'alerte, avertir la D. C. A., les projecteurs, les ballons, faire s'envoler la chasse, etc...

FIG 6.

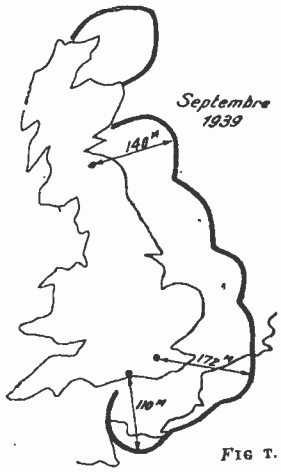


FIG 7.

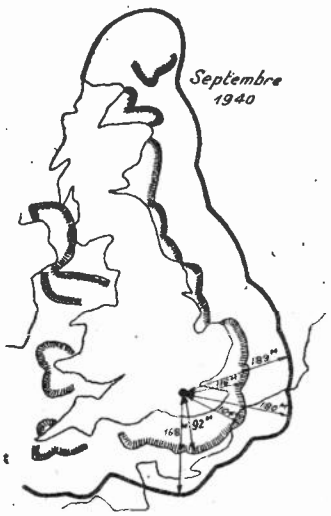


FIG. 8.

FIG 4.

Limite de portée pour la première chaine (avion volant à une altitude de 5.000 m)

Limite de portée pour la seconde chaine (avion volant à une altitude de 150 m.)

A partir du Vendredi-Saint 1939, lorsque les Allemands envahirent la Tchécoslovaquie et entrèrent à Prague, l'ensemble des Radar commença à fonctionner vingt-quatre heures sur vingt-quatre, prêts à déceler toute approche éventuelle des escadrilles allemandes, et cette veille devait se poursuivre jusqu'aux derniers mois des hostilités. La chaîne s'étendait alors de Scapa-Flow au nord, jusqu'à Portsmouth. En septembre 1939, la chaîne de la côte ouest était complète et protégeait convenablement la Grande-Bretagne.

La figure 1 représente la limite de portée de cette chaîne en septembre 1938 et la figure 2 en septembre 1939, pour un avion volant à une altitude d'environ 5.000 mètres. Il s'agissait là de Radar dits « de surveillance générale » ou d' « interception », fonctionnant sur des ondes relativement longues (13 et 11 mètres au début, abaissées à 6 mètres ensuite). Chacun comprenait deux ou trois pylônes de 70 mètres de haut, portant les antennes émettrices et réceptrices, constituées par des séries de doublets alimentés par des feeders et placés devant un écran réflecteur. Etant données les ondes utilisées, la directivité verticale était assez faible, et le faisceau devait être élevé pour éviter la réflexion sur le sol ou sur la mer (1). Aussi ces Radar convenaient-ils surtout pour des avions volant haut, mais pouvaient-ils laisser échapper un avion volant bas, au ras des flots. Ils donnaient des indications assez précises sur la distance, une évaluation de l'azimut, mais pas d'indication de site. Ultérieurement, des dispositifs fonctionnant sur une onde plus courte (50 centimètres) et spécialisés dans l'indication du site furent ajoutés.

Ces premiers Radar furent le résultat de la collaboration des savants déjà nommés, et de deux jeunes physiciens du National Physical Laboratory, MM. Bowen et Wilkins. La bataille d'Angleterre fut la première occasion de les mettre réellement à l'épreuve, et, comme on l'a vu, ils en sortirent victorieux.

Comme il vient d'être dit, la première chaîne décelait mal les avions volant bas. Une seconde chaîne de Radar fut donc établie, sur des ondes plus courtes, permettant des directivités plus grandes et l'orientation du faisceau au ras de la mer, sans pour cela créer des échos fixes trop importants. La figure 3 montre la naissance de cette chaîne en septembre 1940, en même temps que le développement de la première (2), et la figure 4 donne l'état à peu près définitif des deux chaînes en septembre 1941. Les portées indiquées pour la chaîne des Radar destinés aux avions volant bas concernent un avion se trouvant à une altitude d'environ 150 mètres.

L'I. F. F.

Entre temps, M. Wilkins, déjà nommé, développa l'appareil d'identification, connu sous le nom d'I. F. F. (Information Friend or Foe, c'est-à-dire Information ami ou ennemi), grâce auquel un Radar peut reconnaître si un avion dont il reçoit les échos sur l'écran de son oscillographe est ami ou ennemi.

---

(1) On ne peut toutefois s'empêcher de constater que le problème posé par la protection d'une île comme l'Angleterre, avec des côtes constituées souvent par des falaises calcaires, était beaucoup plus facile à résoudre que s'il s'était agi d'installer des Radar à l'intérieur des terres. L'élévation de la côte, la présence du plan horizontal constitué par la mer, réduisait les échos fixes qui se seraient produits sans cela. C'est beaucoup sans doute à cette circonstance qu'est due la confiance que l'on a vite acquise dans les indications des Radar et dans leur développement possible.

(1) Cette première chaîne devait se prolonger en France, de Dunkerque au Jura, par une chaîne de treize grands Radar fixes, comportant chacun deux tours en bois de 70 mètres, et une tour d'une trentaine de mètres (pour l'appareil destiné à donner le site). Les travaux entrepris fin 1939 étaient en cours en juin 1940 par les soins du Service des Télécommunications et de la Signalisation du Ministère de l'Air. Le matériel radioélectrique, de construction anglaise, devait être livré en septembre 1940... — (N. D. L. R.)

Le dispositif, renfermé dans une boîte de petites dimensions, était monté à bord des avions amis et comportait un récepteur des tops du Radar et un réémetteur renforçant certains de ces tops — ou les allongeant — suivant un code convenu, et aisément modifiable. Les avions ennemis, au contraire, renvoyaient des tops tous identiques entre eux.

Les premiers I. F. F. fonctionnaient sur l'émission des Radar proprement dits, et devaient par conséquent couvrir une gamme de fréquence étendue (correspondant aux divers types de Radar de l'armée de l'air ou de la marine). En fait, ils comportaient trois ensembles récepteur-réémetteur, chacun avec un balayage lui faisant couvrir une certaine gamme d'onde. Ultérieurement on spécialisa des Radar pour la reconnaissance, sur une fréquence standardisée, ce qui simplifia la construction des I. F. F.

Le Radar d'avion.

Pendant que cette mise au point se poursuivait, M. Bowen réalisait un Radar destiné à être monté sur les avions de chasse (en particulier pour la chasse de nuit) et permettant de voir l'avion ennemi à attaquer. Il suffisait d'amener l'écho produit par l'avion ennemi entre certains repères de l'écran de l'oscillographe — monté sur le tableau de bord du chasseur — pour que cet avion soit dans le champ des mitrailleuses (1).

Cette réalisation, connue sous le nom de « Air interception », ou A. I., arriva à temps pour être utilisée à la fin de la bataille d'Angleterre, lorsque les Allemands substituèrent aux bombardements de jour des bombardements nocturnes, et c'est beaucoup à elle qu'ils doivent les lourdes pertes que l'on connaît.

Perfectionnement de l'interception.

Sir Henry Tizard, lui, s'occupa principalement alors des Radar d'interception, et leur apporta divers perfectionnements. C'est lui qui, dès 1940, fut envoyé officiellement aux Etats-Unis pour y faire connaître les résultats des études anglaises sur les Radar, longtemps par conséquent avant l'entrée en guerre de l'Amérique.

Le P. P. I.

Un autre dispositif était également en cours d'étude, qui put voir le jour avant la fin de la bataille d'Angleterre : c'est le « Ground Control Interception » (G. C. I.) du docteur Denis Taylor, faisant usage du type de présentation sur l'écran de l'oscillographe du Radar dit « P. P. I. » (Plan Position Indicator, ou indicateur de position en plan).

Il s'agissait de faire apparaître sur l'écran de l'oscillographe d'un Radar, non plus seulement les échos divers échelonnés suivant leur distance, mais une silhouette, en plan, de tout ce qui entourait l'appareil, dans la limite de sa portée. L'écran devait en somme reproduire plus ou moins grossièrement une carte des lieux, avec au centre la position du Radar.

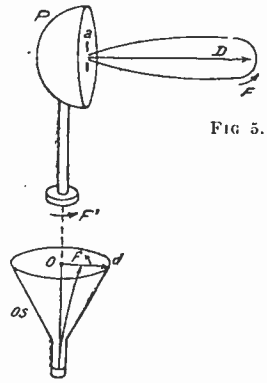


FIG 5.

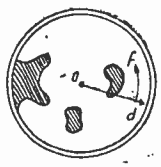


FIG 6.

Ce résultat fut obtenu par le dispositif suivant (fig. 5). Dans la partie supérieure de la figure, est représentée l'antenne d'un Radar (schématisée par le dipôle *a* au foyer du paraboloïde P), fonctionnant sur ondes très courtes, envoyant un faisceau très aigu, et qui tourne mécaniquement autour d'un axe vertical, dans le sens des flèches F et F', à raison d'un tour par seconde, par exemple. La partie inférieure représente l'oscillographe OS dont le faisceau cathodique, tombant normalement au point O, est dévié proportionnellement au temps suivant le rayon, dans la direction *d*, cette direction tournant dans le sens de la flèche *f*, synchroniquement avec l'antenne du Radar émetteur des ondes dans la direction D. Les échos obtenus agissent sur le Wehnelt de l'oscillographe, de façon à moduler le faisceau, comme dans un tube de télévision. L'écran a alors l'aspect de la figure 6, et l'ensemble est assimilable à un récepteur de télévision où le balayage se ferait radialement et circulairement. Les objets situés autour du Radar et provoquant des échos apparaissent sous forme de taches lumineuses. Etant donnée la vitesse relativement faible de la rotation, l'écran de l'oscillographe doit avoir une persistance assez grande pour éviter le scintillement.

En changeant la vitesse de balayage radial, on peut amplifier la reproduction des parties voisines du Radar ; dans certains appareils on peut limiter la zone reproduite à un secteur, etc...

L' « Elsie ».

L'Elsie (ou S. L. C.) est un type de Radar adapté à la commande et au pointage d'un projecteur de D. C. A. Il a été dû aux travaux d'Harold Larnder et de W. S. Eastwood (1).

(1) Un Radar américain de cette espèce, d'un type d'ailleurs perfectionné, figurait sur l'avion de chasse de nuit dit « Veuve-noire » exposé récemment au Champ-de-Mars à Paris, par l'Armée américaine.

(1) Un tel Radar, associé à un projecteur et comportant trois antennes émettrices et quatre antennes réceptrices, toutes du type Iagi, à cinq dipoles, avec réflecteur a été présenté au public français à l'Exposition du matériel de l'Armée anglaise qui a eu lieu en juillet dernier aux Champs Elysées.

Applications maritimes.

Dès avant les hostilités, le docteur W. S. Butement travailla à réaliser un Radar permettant à l'artillerie côtière de repérer les navires ennemis, et P.-E. Pollard montra que l'on pouvait faire cette détection bien au delà de la limite de portée des appareils optiques habituels. De ces recherches résultèrent les Radar d'artillerie de côte dits C. H. L., et également ceux pour l'interception des avions volant à basse altitude, dont il a été question plus haut.

Augmentant la précision de ces appareils en réalisant des faisceaux très déliés — et utilisant pour cela des ondes aussi courtes que possible — Pollard réalisa les premiers Radar de conduite de tir de D. C. A., permettant le pointage des canons sur leurs objectifs, dits Gun Laying (G. L.).

De son côté, la marine perfectionna ses Radar d'interception, et réalisa aussi des Radar de conduite de tir qui permirent la destruction du *Bismarck* et du *Scharnhorst*.

Enfin, Bowen (déjà cité) et R. Hambury-Brown mirent au point les Radar qui permirent de révéler à grande distance la présence de sous-marins naviguant en surface.

Utilisation des ondes centimétriques.

Ces nombreuses réalisations une fois effectuées, on voulut aller plus loin dans la précision, et réussir à mieux différencier entre eux les échos. Ce désir devait entraîner une réduction des longueurs d'onde utilisées. Plus de 90 % des physiciens anglais avaient travaillé aux chaînes de Radar côtiers et avaient une idée assez claire de la voie à suivre. Les premiers, le professeur Oliphant et le docteur Skinner se tournèrent vers les ondes centimétriques. Par un hasard heureux, le professeur Randall venait de réaliser, en juillet 1940, un nouveau magnétron susceptible de produire de telles ondes — voisines de 10 cm — avec une grande puissance. Pour la réception, une nouvelle lampe avait été conçue par le docteur Sutton, et les premiers Radar utilisant ces fréquences furent un Radar de navire, destiné à la lutte contre les sous-marins et un Radar type GL pour la conduite de tir de la D. C. A. Le docteur Landale fut l'auteur de l'appareil de navire et les professeur Cockcroft et docteur Shire, du GL centimétrique.

L'ensemble des études fut poursuivi par les trois établissements de recherche du Gouvernement :

1° L' « Admiralty Signals Establishment », sous la direction du capitaine Willett, puis du capitaine Brooking ;

2° L' « Air Defense Research and Development Establishment », du ministère de la Production, avec John Cockcroft, C.-W. Oatley et O.-G. Sutton ;

3° Le « Telecommunication Research Establishment », du ministère de l'Air, avec A.-P. Rowe.

Le résultat fut :

a) La mise au point d'un Radar de chasse de nuit centimétrique (A. I. Centimétrique), dû au professeur Dee, à M. Allen Hodgkin et W.-E. Burcham ;

b) Celle d'un appareil dénommé « A. S. V. centimétrique », dû au professeur Dee, destiné à diriger vers les sous-marins les avions, et qui, en liaison avec les Radar de navire, contribua à gagner la bataille du golfe de Gascogne ;

c) Celle de l'appareil de vision à travers les nuages, dit H. 2. S, auquel collaborèrent le professeur Dee, MM. Skinner et Lovell (1). M. D. Robinson participa également à cette étude ainsi qu'à celle de l'A. S. V.

■

En dehors de ces divers Radar, trois autres dispositifs, qui ne sont pas des Radar à proprement parler, mais qui font appel, eux aussi, à la technique des impulsions, ont été réalisés :

Le G. E. E.

C'est un dispositif de guidage des avions et des bateaux, dû à R.-J. Dippy et à C.-C.-E. Bellringer. Une station émettrice, située à terre, émet des tops périodiques, que reçoit et réémet, avec un retard bien déterminé, une seconde station également située à terre. L'avion ou le navire qui veut se situer mesure à l'aide d'un récepteur spécial, muni d'un oscillographe cathodique, l'intervalle de temps qui sépare l'arrivée d'un top de la première station et de sa réémission par la seconde, ce qui le situe sur une hyperbole ayant pour foyers les deux stations. En opérant de même sur d'autres stations, il trouve une seconde hyperbole, et il a ainsi sa position exacte.

Le dispositif fonctionne sur ondes métriques et a une portée de 300 à 500 km, dépendant de l'altitude des émetteurs et des récepteurs. C'est lui qui a permis les premiers raids de 1.000 bombardiers sur Cologne (2). Il en a également été fait un très grand usage lors du débarquement de Normandie, tant pour mouiller au préalable des bouées repères, que pour guider les avions et les bateaux de débarquement. Le jour du débarquement — disent les Anglais — aurait pu, au lieu de s'appeler le « D day », s'intituler plus justement le « G. E. E. day ».

Le « Oboe » (Hautbois).

Ce dispositif de navigation, encore secret, donne une précision beaucoup plus grande que le G. E. E. Avec lui, les stations à terre peuvent

(1) Pour le principe de l'H. 2 S. (dénommé également « Rotterdam »), voir *Onde Electrique*, novembre 1945, p. 17 A.

(2) Un dispositif américain fonctionnant sur des ondes plus longues (145 mètres), basé sur le même principe, et connu sous le nom de « Long Range Navigation » (ou LORAN) donnait des portées plus grandes, atteignant 1.500 à 2.000 kilomètres de nuit, et était utilisé pour le bombardement de Berlin. — (N. D. L. R.)

évaluer la position des bombardiers avec une précision telle que ce sont ces stations qui signalent par radio aux bombardiers l'instant où ils doivent lâcher leurs bombes. Le « Oboe » a été utilisé pour les bombardements des mines de la Ruhr et des canons côtiers de Normandie. Il est dû à F.-C. Williams, A.-H. Reeves et F.-E. Jones (1).

Le « Rebecca-Eureka ».

C'est un petit radiophare basé sur le principe de l'I. F. F. et permettant aux avions munis d'un Radar de bord de se diriger vers lui ou de l'atteindre. L'appareil doit être mis en place dans la région désirée, soit par des partisans, soit par des troupes parachutées. Il a été employé — concurremment avec d'autres systèmes basés sur la radiogoniométrie — pour faciliter les parachutages d'armes et d'agents en territoires occupés. Il est dû à F.-C. Williams, Pringle et Lines.

■

D'autres savants, physiciens et ingénieurs anglais ont, enfin, contribué, d'une manière générale, aux recherches énumérées ci-dessus. Il faut citer J.-A. Ratcliffe, le docteur Huxley, G.-W. Dummer, le docteur Griffith's, B. Bleaney, A.-H. Cooke, H.-G. Hughes (étude de lampes), Sayers, Boot, le professeur Cockburn, le docteur Lewis, etc...

Le « Radio Board » lui-même et ses deux principaux Comités, le « Radio Production Executive » et le « Signals Organisation » eut la tâche de faciliter ces études, de les faire aboutir, de pousser les réalisations industrielles en série, etc...

■

Ce tour d'horizon effectué, et ce légitime hommage rendu aux savants et ingénieurs qui, du côté britannique, mirent au point et perfectionnèrent le Radar, on se demandera sans doute quelle fut l'évolution de la même question outre-Rhin.

Autant qu'on puisse le savoir, il semble que les Allemands, s'ils connurent sans doute assez tôt le principe des Radar, ne s'y intéressèrent pas outre mesure tout d'abord. La raison est peut-être qu'ils appliquaient tous leurs efforts au développement d'appareils de repérage utilisant les radiations infra-rouges, qui leur paraissaient avoir de beaucoup plus grandes possibilités. Les centaines de kilowatts rayonnés en infra-rouge par l'échappement des moteurs d'un avion surclassent évidemment en puissance la fraction de microwatt que ce même avion peut renvoyer vers le sol, lorsqu'il est frappé par les ondes radioélectriques d'un Radar !

Mais, assez vite, l'ennemi se rendit compte de l'intérêt des dispositifs électromagnétiques, et, dès lors, il rattrapa, au moins en partie, son retard. Il réalisa de nombreux types de Radar, d'interception générale, de D.C.A., d'avion, de navire, de sous-marin, etc... souvent remarquables par leurs dispositions mécaniques. A la fin de 1941, les côtes de l'Atlantique et de la Manche avaient été dotées d'installations diverses, et le 27 février 1942 un raid de Commandos britanniques détruisait un Radar allemand, près de Bruneval, au nord du Havre. Cet appareil, destiné à déceler les avions, était du type à paraboloïde réflecteur, de grand diamètre, assez analogue, aux dimensions près, à certains Radar alliés.

Bien qu'ils aient étudié les magnétrons, il ne semble pas que les Allemands arrivèrent à leur faire produire des oscillations puissantes sur des ondes aussi courtes que les Alliés, et ils ne purent ainsi descendre autant en longueur d'onde. Les appareils effectivement en service dans l'armée ou la marine se bornaient à utiliser des triodes spéciales, et des ondes de l'ordre du mètre, de cinquante centimètres, et, au minimum, de trente centimètres, semble-t-il. Une directivité suffisante était d'ailleurs obtenue, lorsque c'était nécessaire, par l'emploi de paraboloïdes de très grand diamètre, pleins ou grillagés, et démontables pour le transport.

Une compétition analogue à celle de l'obus et de la cuirasse se livra pendant les dernières années de la guerre au dessus du territoire germanique, pour le brouillage et la protection contre le brouillage des Radar allemands. Les bombardiers alliés cherchaient évidemment à perturber les indications données par ces appareils, et ils utilisaient pour cela, soit des émissions de même fréquence faites à bord, soit le « window », ces serpentins de papier métallisé, souvent recueillis à terre après le passage des raids, et qui, lancés dans l'atmosphère et s'y maintenant assez longtemps avant de tomber, réfléchissaient les ondes, créant en somme un « brouillard électromagnétique artificiel », donnant de « faux échos » masquant ceux des avions sur les écrans des Radar.

Contre eux, divers procédés très ingénieux furent étudiés par les Allemands permettant — avec un peu d'habitude — de distinguer entre les échos du « window » et ceux fournis par les avions. Le même problème ne se posait pas pour les Alliés et, dans ce domaine de l' « antibrouillage », les Allemands furent peut-être pendant un certain temps en avance sur eux.

Enfin, le repérage des Radar donna aussi lieu à d'intéressantes réalisations de radiogoniomètres spéciaux, sur ondes très courtes, susceptibles d'être montés sur un bateau, un sous-marin, etc...

(1) On peut supposer qu'il consiste en un dispositif analogue au GEE, complété par des récepteurs-réémetteurs analogues aux IFF, mais plus puissants situés à bord. Des différences de temps qui séparent les retours des divers « tops », des stations de réception placées à terre peuvent déduire la position de l'avion. Mais ceci n'est qu'une hypothèse. D'après certains renseignements récemment publiés, la précision, même à grande distance, serait de l'ordre de 8 mètres (N.D.L.R.).